



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO MECÁNICO**

TEMA:

“EVALUACION DEL DESGASTE DE LAS HERRAMIENTAS DE CORTE
Y ACABADO SUPERFICIAL EN EL TORNEADO DEL ACERO
INOXIDABLE AISI 304 MEDIANTE LUBRICACION HIBRIDA CO₂ +
NANO TiO₂”

AUTORES: Diego Mauricio Carranza Calero

Leticia Abigail Mayorga Ases

TUTOR: Ing. MSc. Diego Fernando Núñez Núñez

AMBATO-ECUADOR

2020

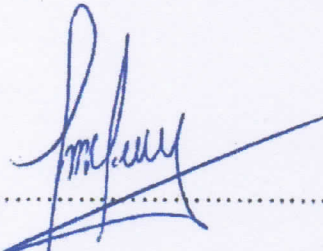
APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor, del trabajo experimental previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, bajo el tema **“EVALUACION DEL DESGASTE DE LAS HERRAMIENTAS DE CORTE Y ACABADO SUPERFICIAL EN EL TORNEADO DEL ACERO INOXIDABLE AISI 304 MEDIANTE LUBRICACION HIBRIDA CO2 + NanoTiO2”** elaborado por los estudiantes Diego Mauricio Carranza Calero, y Leticia Abigail Mayorga Ases, egresados de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato.

CERTIFICO

- El presente trabajo experimental es original de sus autores.
- Ha sido revisado cada uno de los capítulos integrados.
- Y está terminado en su totalidad.

Ambato, 20 de abril del 2020



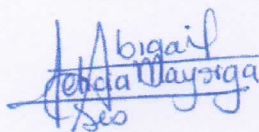
.....
Ing. MSc. Diego Fernando Núñez Núñez

TUTOR

AUTORÍA DE TRABAJO

Declaramos que el contenido en el trabajo experimental denominado: “EVALUACION DEL DESGASTE DE LAS HERRAMIENTAS DE CORTE Y ACABADO SUPERFICIAL EN EL TORNEADO DEL ACERO INOXIDABLE AISI 304 MEDIANTE LUBRICACION HIBRIDA CO₂ + NanoTiO₂” de la misma forma las ideas, análisis, resultados, conclusiones son auténticas y de nuestra responsabilidad como autores del presente trabajo.

Ambato, agosto del 2020

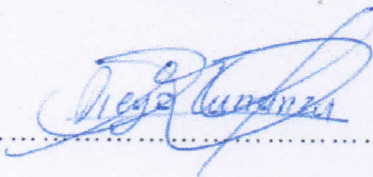


.....

Leticia Abigail Mayorga Ases.

C.I: 180485591-2

Autor



.....

Diego Mauricio Carranza Calero.

C.I: 180547203-0

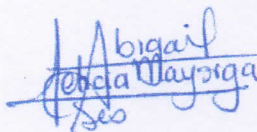
Autor

DERECHOS DE AUTOR

Autorizamos a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este proyecto de investigación, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación.

Cedemos los derechos en línea patrimoniales de nuestro proyecto de investigación, con fines de difusión pública; además aprobamos la reproducción de este proyecto de investigación, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica potencial; y se realice respetando nuestros derechos de autoría.

Ambato, agosto del 2020

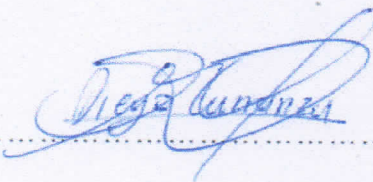


.....

Leticia Abigail Mayorga Ases.

C.I: 180485591-2

Autor



.....

Diego Mauricio Carranza Calero.

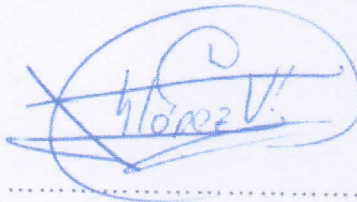
C.I: 180547203-0

Autor

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

El tribunal de grado aprueba el Proyecto de Investigación, sobre el tema: "EVALUACION DEL DESGASTE DE LAS HERRAMIENTAS DE CORTE Y ACABADO SUPERFICIAL EN EL TORNEADO DEL ACERO INOXIDABLE AISI 304 MEDIANTE LUBRICACION HIBRIDA CO₂ + NanoTiO₂" elaborado por Diego Mauricio Carranza Calero y Leticia Abigail Mayorga Ases, el mismo que guarda conformidad con las disposiciones reglamentarias emitidas por la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, agosto de 2020



Ing. Mg. Jorge López



Ing. Mg. Cristian Pérez

DEDICATORIA

Este trabajo y logro se lo dedico a mi madre Glorita que con amor, entrega y sabiduría supo guiarme por el buen camino para llegar a donde estoy y ser lo que soy, gracias por todo el apoyo y amor incondicional que me ha brindado en toda mi vida y sin el cual no hubiera alcanzado este objetivo. “Muchas maravillas hay en el universo, pero nada comparado como el amor de una madre.”

A mis abuelitos Francisco Javier y María Etelvina por cuidarme y amarme siempre, inculcarme valores y principios, por enseñarme que no existen cosas imposibles y que con esfuerzo, trabajo y dedicación se consigue todo.

A mi hermano Christian por ser mi mano derecha en todo aspecto de la vida, por ser quien sigue mis pasos y quien me inspira a seguir el camino del éxito.

Finalmente, a mis docentes y a mis amigos, especialmente a mi amiga Letty Mayorga con quien hemos luchado hombro con hombro y mente con mente para que este trabajo sea posible, y alcanzar el primero de muchos objetivos siendo el equipo que somos.

Diego Carranza

DEDICATORIA

Este trabajo investigativo fue el resultado de pequeños esfuerzos repetidos día tras día, así como la constancia y el trabajo en equipo.

Todo el esfuerzo acumulado a lo largo de la carrera universitaria se ve resumido en estas páginas que las dedico con mucho cariño a mi hermana María José quien es un eje fundamental en mi vida, junto con el resto de mi familia que me apoyan en cada etapa, tanto mis padres como mis hermanos Alexandra y David, que siempre han creído en mí como una persona capaz.

Dentro de mi vida han aparecido también personas que forman parte de la bendición que Jehová me otorga para que sea feliz y que son mis amigos, Gonzalo, César, Cristina, Darwin y Carolina; también se las dedico a ellos debido a que me han apoyado en cada momento.

A mi amigo Diego que además de ser mi compañero de tesis es también alguien en quien puedo confiar para formar un buen equipo.

Con cariño,

Leticia Mayorga

AGRADECIMIENTO

“La Gratitude es cuando la memoria se almacena en el corazón y no en la mente”

Agradezco infinitamente el apoyo de mis padres, hermano y abuelitos que me han acompañado y guiado siempre en el camino, gracias por creer en mi y motivarme siempre a ser un mejor hombre cada día.

A mi tutor Ing. Diego Núñez. Mg. Por los conocimientos compartidos, por el apoyo y confianza brindada en las aulas y en el transcurso de este proyecto.

A mi alma mater Universidad Técnica de Ambato, a la carrera de Ingeniería Mecánica a todos los docentes por llenarme de conocimientos, para ser un profesional exitoso. Un buen maestro trabaja para toda la eternidad, nunca se sabe hasta dónde llegará su influencia.

Finalmente, a todos mis amigos a los que considero como la familia que uno elige, por enseñarme el valor del trabajo en equipo y por la ayuda brindada en esta parte del camino.

Diego Carranza

AGRADECIMIENTO

“El agradecimiento es la memoria del corazón”

Lao Tsé

Mi agradecimiento va dirigido a Jehová quien es el ser más supremo del universo, las palabras citadas al principio permiten describir que desde mi corazón valoro cada detalle que existe y está presente en mi vida, cada experiencia de vida ha sido fundamental para formar la persona que soy ahora.

Dentro de este contexto puedo describir esta etapa como algo satisfactorio, lo cual me llena de gratitud a mi hermana María José quien me apoya en todos los aspectos que rigen en mi vida, mis padres, mis hermanos y mis amigos.

Es la oportunidad de agradecer también a la Universidad Técnica de Ambato que ha sido mi segundo hogar durante mi formación profesional y a todos mis profesores que han dejado una huella en mi vida, han sido personas accesibles y han estado dispuestos a compartir sus conocimientos y experiencias con la finalidad de formar profesionales de calidad. Dentro de este campo, quiero hacer un agradecimiento al Ing. Diego Núñez que en calidad de tutor ha compartido su experiencia en trabajos investigativos y me ha brindado consejos sobre la ejecución del tema. También al Ing. Jorge López que además de un tutor de clases es un amigo.

Leticia Mayorga

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	3
MARCO TEÓRICO.....	3
1.1. Antecedentes Investigativos.....	3
1.2. Objetivos	7
1.2.1. Objetivo General:	7
1.2.2. Objetivos Específicos:.....	7
1.3. Hipótesis:.....	9
1.3.1. Variable dependiente:.....	9
1.3.2. Variable independiente:	9
1.4. Marco Teórico:.....	9
1.4.1. Métodos de refrigeración para procesos de mecanizado por arranque de viruta.....	9
1.4.1.1. Aceites emulsificables.....	9
1.4.1.2. Mecanizado con mínima cantidad de lubricante (MQL).....	11
1.4.1.3. Mecanizado en seco de alta velocidad.....	13
1.4.1.4. Nano partículas de dióxido de Titanio.....	14
1.4.1.5. Fluidos criogénicos.....	15
1.4.1.6. Influencia del método de refrigeración de la herramienta de corte en el acabado superficial	16
1.4.2. Proceso de Torneado	17
1.4.2.1. Operaciones en Torneado	17
1.4.2.2. Parámetros de trabajo del proceso de torneado	19
1.4.2.3. Herramientas de corte:.....	22
1.4.3. Sistema de lubricación híbrida	24
1.4.4. Rugosidad Superficial	26

1.4.5.	Desgaste y vida de la herramienta de corte	30
1.4.5.1.	Mecanismos de desgaste:	30
1.4.5.2.	Localización del desgaste	32
1.4.6.	Morfología de la viruta.....	33
1.4.6.1.	Viruta fragmentada.....	34
1.4.6.2.	Viruta continua	34
1.4.6.3.	Viruta segmentada.....	34
CAPÍTULO II		35
METODOLOGÍA		35
2.1.	Materiales.....	35
2.1.1.	Probetas de acero AISI 304.....	35
2.1.2.	Plaquetas de carburo sinterizadas para el proceso de torneado	36
2.1.3.	Nano partículas de TiO ₂	43
2.1.4.	Aceite lubricante	43
2.1.5.	CO ₂	44
2.1.6.	Electroválvulas.....	45
2.1.7.	Válvula antirretorno	45
2.1.8.	Torno	46
2.1.9.	Rugosímetro SJ – 210	46
2.1.10.	Microscopio de barrido.....	47
2.1.11.	MQL	47
2.1.12.	Suministro de aire comprimido	48
2.2.	Métodos.....	48
2.2.1.	Nivel o tipo de investigación.....	48
2.2.2.	Metodología	48
2.2.3.	Plan de recolección de información	59

2.2.4.	Esquema del sistema de mezcla y distribución de CO ₂ en estado líquido y gaseoso.....	59
2.2.4.1.	Descripción del funcionamiento del sistema criogénico	60
2.2.4.2.	Diseño y selección de los elementos del sistema de distribución	63
2.2.4.3.	Selección de la tubería normalizada	73
2.2.4.4.	Selección de las electroválvulas	73
2.2.4.5.	Selección de las válvulas antirretorno	73
2.2.5.	Diagrama de flujo de construcción del sistema criogénico.....	74
2.2.6.	Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema criogénico.....	75
2.2.7.	Procedimiento para la elaboración de ensayos de evaluación de la calidad superficial del acero AISI 304 y vida útil de la herramienta de corte. 75	
2.2.8.	Plan de procesamiento y análisis.....	77
CAPÍTULO III.....		78
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		78
3.1.	Análisis y discusión de resultados	78
3.1.1.	Adquisición de datos	78
3.1.1.1.	Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento 1 (mecanizado en seco)	79
3.1.1.2.	Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento 2 (mecanizado en seco)	80
3.1.1.3.	Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento 3 (mecanizado en seco)	81
3.1.1.4.	Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento 4 (mecanizado en seco)	82
3.1.1.5.	Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento 5 (mecanizado con sistema Cryo-MQL + 0,5% nanoTiO ₂)	83

3.1.1.6.	Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento 6 (mecanizado con sistema Cryo-MQL + 0,5% nanoTiO ₂)	84
3.1.1.7.	Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento 7 (mecanizado con sistema Cryo-MQL + 0,5% nanoTiO ₂)	85
3.1.1.8.	Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento 8 (mecanizado con sistema Cryo-MQL + 0,5% nanoTiO ₂)	86
3.1.2.	Rugosidad superficial Ra	87
3.1.3.	Rugosidad Superficial Rz.....	88
3.1.4.	Evaluación del desgaste de flanco de la herramienta de corte	90
3.1.4.1.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E01 y E05 (5 minutos de mecanizado).....	91
3.1.4.2.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E01 y E05 (10 minutos de mecanizado).....	92
3.1.4.3.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E01 y E05 (15 minutos de mecanizado).....	93
3.1.4.4.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E01 y E05 (20 minutos de mecanizado).....	94
3.1.4.5.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E01 y E05 (25 minutos de mecanizado).....	95
3.1.4.6.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E01 y E05 (30 minutos de mecanizado).....	96
3.1.4.7.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E01 y E05 (35 minutos de mecanizado).....	97
3.1.4.8.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E01 y E05 (40 minutos de mecanizado).....	98
3.1.4.9.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E01 y E05 (45 minutos de mecanizado).....	99
3.1.4.10.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E01 y E05 (50 minutos de mecanizado).....	100

3.1.4.11.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E02 y E06 (5 minutos de mecanizado).....	103
3.1.4.12.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E02 y E06 (10 minutos de mecanizado).....	104
3.1.4.13.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E02 y E06 (15 minutos de mecanizado).....	105
3.1.4.14.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E02 y E06 (20 minutos de mecanizado).....	106
3.1.4.15.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E02 y E06 (25 minutos de mecanizado).....	107
3.1.4.16.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E02 y E06 (30 minutos de mecanizado).....	108
3.1.4.17.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E02 y E06 (35 minutos de mecanizado).....	109
3.1.4.18.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E02 y E06 (40 minutos de mecanizado).....	110
3.1.4.19.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E02 y E06 (45 minutos de mecanizado).....	111
3.1.4.20.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E02 y E06 (50 minutos de mecanizado).....	112
3.1.4.21.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E03 y E07 (5 minutos de mecanizado).....	115
3.1.4.22.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E03 y E07 (10 minutos de mecanizado).....	116
3.1.4.23.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E03 y E07 (15 minutos de mecanizado).....	117
3.1.4.24.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E03 y E07 (20 minutos de mecanizado).....	118
3.1.4.25.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E03 y E07 (25 minutos de mecanizado).....	119

3.1.4.26.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E03 y E07 (30 minutos de mecanizado).....	120
3.1.4.27.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E03 y E07 (35 minutos de mecanizado).....	121
3.1.4.28.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E03 y E07 (40 minutos de mecanizado).....	122
3.1.4.29.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E03 y E07 (45 minutos de mecanizado).....	123
3.1.4.30.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E03 y E07 (50 minutos de mecanizado).....	124
3.1.4.31.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E04 y E08 (5 minutos de mecanizado).....	127
3.1.4.32.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E04 y E08 (10 minutos de mecanizado).....	128
3.1.4.33.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E04 y E08 (15 minutos de mecanizado).....	129
3.1.4.34.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E04 y E08 (20 minutos de mecanizado).....	130
3.1.4.35.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E04 y E08 (25 minutos de mecanizado).....	131
3.1.4.36.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E04 y E08 (30 minutos de mecanizado).....	132
3.1.4.37.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E04 y E08 (35 minutos de mecanizado).....	133
3.1.4.38.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E04 y E08 (40 minutos de mecanizado).....	134
3.1.4.39.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E04 y E08 (45 minutos de mecanizado).....	135
3.1.4.40.	Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E04 y E08 (50 minutos de mecanizado).....	136

3.1.5.	Ecuación de Taylor	138
3.1.6.	Tipo de viruta	142
3.1.7.	Temperatura de mecanizado	143
3.1.8.	Costos de mecanizado	144
3.1.8.1.	Mecanizado en seco.....	144
3.1.8.2.	Mecanizado Cryo MQL.....	145
3.1.8.3.	Relación del costo del mecanizado Cryo MQL + Nano TiO ₂ con otros procesos.....	146
3.2.	Verificación de la hipótesis.....	148
CAPÍTULO IV.....		153
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		153
4.1.	Conclusiones.....	153
4.2.	Recomendaciones	156
BIBLIOGRAFÍA.....		157
ANEXOS.....		162

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Esquema de un sistema MQL Interno (a) externo (b) [10].....	11
Fig. 2 Sistemas de mezclado MQL (1) un canal (2) dos canales [10]	12
Fig. 3 Micrografía de dióxido de titanio obtenidas químicamente y tratadas a 450°C [12]	14
Fig. 4 Torneado – cilindrado [16]	17
Fig. 5 Torneado – refrentado [16].....	18
Fig. 6 Torneado - cilindrado cónico [16]	18
Fig. 7 Torneado – ranurado [16]	18
Fig. 8 Torneado – roscado [16].....	19
Fig. 9 Torneado – taladrado [16].....	19
Fig. 10 Torneado – escariado [16]	19
Fig. 11 Movimientos relativos presentes en la pieza – herramienta [17].....	20
Fig. 12 Velocidad de corte V_c [17].....	20
Fig. 13 Velocidad de avance V_a	21
Fig. 14 Elementos de sujeción de las plaquitas [18]	23
Fig. 15 Diagrama de fases del CO_2 [7].....	24
Fig. 16 Agitador electromagnético [22]	26
Fig. 17 Derivación de la desviación media aritmética [25].	27
Fig. 18 Máxima altura del perfil de rugosidad [26]	30
Fig. 19 Zonas de localización de desgaste [28].....	32
Fig. 20 Zonas de desgaste del flanco de la herramienta [30].....	33
Fig. 21 Tipos de viruta: a) Fragmentada, b) Continua, c) Segmentada [28].....	34
Fig. 22 a Dimensiones del inserto [32]	37
Fig. 23 Codificación del inserto [32]	41
Fig. 24 Acotación de la herramienta seleccionada [32].....	42
Fig. 25 Nano TiO_2	43
Fig. 26 Aceite Unist Coolube 2210.....	44
Fig. 27 Cilindros de CO_2 de 10 kg	44
Fig. 28 Válvula solenoide	45
Fig. 29 Válvula antirretorno.....	45
Fig. 30 Torno semiautomático	46

Fig. 31 Rugosímetro, palpador y galga de calibración	46
Fig. 32 Microscopio de barrido SEM.....	47
Fig. 33 Sistema MQL.....	47
Fig. 34 Esquema del sistema de mezcla y distribución de CO ₂	59
Fig. 35 Componentes de los accesorios de conexión UNILOCK [34]	61
Fig. 36 Sección de una válvula antirretorno [35].....	62
Fig. 37 Tubing de acero inoxidable.....	62
Fig. 38 Sistema de lubricación híbrida compuesta de fluido criogénico y MQL .	63
Fig. 39 Condiciones del sistema.....	64
Fig. 40 Curva a 90° de una tubería.....	65
Fig. 41 Resistencia debida a las vueltas de 90 ° en vueltas de tubería [36].....	66
Fig. 42 Valores de diseño de la rugosidad de tuberías [36]	67
Fig. 43 Comportamiento termodinámico del CO ₂ [37].....	69
Fig. 44 Propiedades del CO ₂ en función de la temperatura [37].....	70
Fig. 45 Diámetros de tuberías disponibles en tubing [39]	73
Fig. 46 Procedimiento para la elaboración de ensayos de calidad superficial y vida útil de la herramienta de corte mediante el proceso de torneado y lubricación Cryo MQL.....	76
Fig. 47 Calibración del Rugosímetro Mitutoyo SJ210.....	78
Fig. 48 Rugosidad superficial Ra de cada caso analizado.	87
Fig. 49 Rugosidad superficial Rz de cada caso analizado	88
Fig. 50 Rugosidad Ra en función de las velocidades de corte y avance (mecanizado en seco y Cryo-MQL + 0,5% Nano TiO ₂).....	89
Fig. 51 Rugosidad Rz en función de las velocidades de corte y avance (mecanizado en seco y Cryo-MQL + 0,5% Nano TiO ₂).....	89
Fig. 52 Evolución del desgaste de flanco; comparativa (E01 & E05)	101
Fig. 53 Proyección del desgaste de flanco en el tiempo; comparativa (E01 & E05)	102
Fig. 54 Evolución del desgaste de flanco; comparativa (E02 & E06)	113
Fig. 55 Proyección del desgaste de flanco en el tiempo; comparativa (E02 & E06)	114
Fig. 56 Evolución del desgaste de flanco; comparativa (E03 & E07)	125

Fig. 57 Proyección del desgaste de flanco en el tiempo; comparativa (E03 & E07)	126
Fig. 58 Evolución del desgaste de flanco; comparativa (E04 & E08)	137
Fig. 59 Proyección del desgaste de flanco en el tiempo; comparativa (E04 & E08)	138
Fig. 60 Tiempo de vida útil de la herramienta de corte en función de la velocidad de corte (comparativa, mecanizado en seco y con lubricación híbrida).	142
Fig. 61 Viruta del proceso de mecanizado en seco	142
Fig. 62 Viruta del proceso de mecanizado con Cryo MQL	143
Fig. 63 Temperatura de mecanizado en seco	143
Fig. 64 Temperatura de mecanizado Cryo MQL	144
Fig. 65 Costos por kg del proceso de mecanizado en seco	145
Fig. 66 Costo por kg de mecanizado Cryo MQL + Nano TiO ₂	146
Fig. 67 Comparación de costos de mecanizado en relación con diferentes métodos de lubricación	147

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características del proceso de torneado a diferentes velocidades.....	22
Tabla 2 Condiciones de selección del inserto para torneado.	23
Tabla 3 Estados superficiales	27
Tabla 4 Procesos normales de fabricación [23]	29
Tabla 5 Propiedades físicas y mecánicas del acero Böhler ANTINIT 304L (AISI 304L) [31]	35
Tabla 6 Insertos de torneado 80° [32].....	36
Tabla 7 Parámetros generales del inserto a seleccionar.	37
Tabla 8 Dimensiones de la herramienta seleccionada.....	42
Tabla 9 Especificaciones de operación definidas por el fabricante	43
Tabla 10 Propiedades del aceite vegetal UNIST COOLUBE 2210 [33].....	44
Tabla 11 Factores y niveles para el diseño experimental.....	49
Tabla 12 Corridas del diseño experimental.....	50
Tabla 13 Longitud normalizada de muestra de rugosidad [23].....	54
Tabla 14 Valores de rugosidad estimados para la selección de la longitud de muestreo Ra [25].....	55
Tabla 15 Valores de rugosidad estimados para la selección de la longitud de muestreo Rz [25].....	55
Tabla 16 Resultados de las iteraciones para la búsqueda de Va y Vb	71
Tabla 17 Desgaste de flanco en función del tiempo E01 & E05	101
Tabla 18 Desgaste de flanco en función del tiempo E03 & E06	113
Tabla 19 Desgaste de flanco en función del tiempo E03 & E07	125
Tabla 20 Desgaste de flanco en función del tiempo E04 & E08	137
Tabla 21 Parámetros para el cálculo de las constantes C y k para mecanizado en seco.....	139
Tabla 22 Resultados, para las constantes c y k mecanizado en seco	139
Tabla 23 Parámetros para el cálculo de las constantes C y k para mecanizado con lubricación híbrida	140
Tabla 24 Resultados, para las constantes c y k mecanizado con lubricación híbrida	140

Tabla 25 Tiempo de vida útil de la herramienta de corte en función de la velocidad de corte (comparativa, mecanizado en seco y con lubricación híbrida).	141
Tabla 26 Distribución t Student [40].....	150
Tabla 27 Valores estadísticos para la distribución calculada.....	150

RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación se enfocó en estudiar la influencia de un método de lubricación híbrida, que involucra el uso de CO₂ criogénico y un sistema de mínima cantidad de lubricante (MQL) combinado con nanopartículas de dióxido de titanio en el acabado superficial de elementos obtenidos mediante procesos de torneado, y el desgaste de flanco de las herramientas de corte, la evaluación se llevó a cabo en un proceso de acabado en un torno convencional, sin embargo, el método de lubricación y refrigeración propuesto también se puede emplear en tornos CNC.

Para efectuar los análisis se emplearon insertos de carburo de tungsteno de un solo radio de punta establecido en 0,8 mm, los parámetros de mecanizado a variar fueron la velocidad de corte y el avance, se utilizaron los valores recomendados y los valores máximos de estos dos parámetros para establecer las combinaciones experimentales, así como el método de lubricación, para la mitad de las combinaciones se realizó en seco, mientras que para el resto se hizo uso del sistema de refrigeración y lubricación híbrida propuesto.

El sistema de lubricación híbrida comprende el uso de CO₂ líquido y gaseoso combinado con un sistema de mínima cantidad de lubricante que emplea un nano fluido compuesto de un aceite vegetal biodegradable mezclado con nanopartículas de dióxido de titanio a una concentración de 0,5 por ciento en peso, la mezcla de fluido criogénico y nano fluido fue direccionada hacia la zona de contacto pieza-herramienta para contrarrestar la fricción y bajar las temperaturas de corte.

Para evaluar la rugosidad y el desgaste de flanco en las distintas combinaciones de parámetros se usaron instrumentos estándar como un rugosímetro capaz de registrar valores de calidad superficial Ra y Rz y un microscopio electrónico de barrido que permitirá observar y medir la evolución del desgaste de flanco de los insertos de una manera precisa de acuerdo con la norma ISO 3685.

EXECUTIVE SUMMARY.

The present research focused on studying the influence of a hybrid lubrication method, which involves the use of cryogenic CO₂ and a minimum lubricant quantity (MQL) system combined with titanium dioxide nanoparticles on the surface finish of elements automatically processes of turning, and flank wear of cutting tools, the evaluation was carried out in a finishing process on a conventional lathe, however, the proposed lubrication and cooling method can also be handled on CNC lathes.

To analyze the analyzes, tungsten carbide inserts with a single tip radius established at 0.8 mm were used, the machining parameters to be varied were the cutting speed and feed, the recommended values and the maximum values of these will be used. two parameters to establish the experimental combinations, as well as the lubrication method, for half of the combinations it was carried out dry, while for the rest it was made use of the proposed hybrid refrigeration and lubrication system.

The hybrid lubrication system comprises the use of liquid and gaseous CO₂ combined with a minimum lubricant quantity system that uses a nano fluid composed of a biodegradable vegetable oil mixed with nanoparticles of titanium dioxide at a concentration of 0.5 per cent by weight , the mixture of cryogenic fluid and nano fluid was directed towards the part-tool contact area to counteract friction and lower cutting temperatures.

Standard instruments such as a roughness tester capable of recording surface quality values Ra and Rz and a scanning electron microscope that detect and measure the evolution of flank wear of the flanges are used to evaluate the roughness and flank wear in the different parameter combinations. inserts in a precise manner in accordance with ISO 3685.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos

La producción basada en el desarrollo sustentable debe brindar la posibilidad para mejorar la calidad del producto, reducir precios de producción y proteger el medio ambiente. Los procesos de manufactura mediante el mecanizado deben tomar en cuenta también estos criterios [1]. Entre los costos de producción del mecanizado, el 17% se encuentra en la refrigeración de los elementos a fabricarse y un 30% de los fluidos se pierde en la limpieza de los elementos de la máquina y en fugas. Como consecuencia de esto, durante la última década han aparecido nuevos métodos de lubricación más eficientes que el método tradicional de inundación. Las investigaciones efectuadas para el método de MQL (Mínima Cantidad de Lubricante) se han desarrollado a mayor escala a partir del año 2000 enfocadas especialmente en el proceso de manufactura por mecanizado, este método brinda un mejor desempeño y una reducción máxima del consumo de lubricante en los procesos relacionados al desprendimiento de viruta de los materiales.

En un estudio de la influencia del MQL en el torneado de SAE 1045 comparado con el maquinado en seco efectuado por Sampaio y otros en 2018 [2] se utilizó un torno CNC en un rango de velocidades de corte de 100 y 150 m/min, avance de 0,08 mm/rev y profundidad de corte de 0,1 y 0,2 mm utilizando un aceite lubricante de base vegetal de LB2000 dio como resultados que el uso del MQL reduce la temperatura de corte en la zona de corte, la rugosidad en el acabado superficial de la pieza de trabajo se reduce; la aplicación del MQL muestra una influencia positiva en el proceso a diferencia del torneado en seco. Los resultados del estudio mostraron también que el uso de este tipo de lubricación reduce la tasa de desgaste del cráter formado en la herramienta de corte preservando su forma original por más tiempo.

Experimentaciones en el mecanizado de acero aleado AISI 4340 [3] con el método de lubricación por inundación comparado con el MQL utilizando un torno CNC con un rango de velocidad de corte de 1,049 a 3,147 m/s, un rango de avance de 0,0508 a 0,1524 mm/rev y una profundidad de corte constante de 4,775 mm utilizando un

lubricante Coolube 2210 de base vegetal suministrado por un sistema de mezcla de aire y aceite a 40 psi a 2,5 l/min dio como resultado que la fuerza de corte bajo los efectos del MQL y el método de inundación son muy similares, a diferencia del proceso efectuado en seco que posee una fuerza mayor que los otros dos casos. En el caso de la temperatura de corte, el uso de la mezcla de aire y aceite en el MQL se reduce significativamente en la zona de corte en comparación del método tradicional por inundación con un flujo de 16 ml/h y el proceso efectuado en seco; esta condición mejora cuando se aumenta el flujo del MQL. Los resultados obtenidos en la evaluación de esfuerzos residuales indican que el método por inundación presenta una menor concentración de esfuerzos residuales, sin embargo, no existe una diferencia significativa en comparación del método MQL y en seco. De manera general el estudio muestra que el método de MQL puede ser igual de eficiente que el método de inundación.

Otro estudio sobre la influencia del sistema MQL en la vida útil de las herramientas de corte de metal duro en fresado efectuado en el acero AISI 1018 [4] evalúa la vida útil de la herramienta de corte en función de la norma ISO 8688-1 1989 en un centro de mecanizado CNC de 3 ejes con insertos de metal duro de la serie P de la marca Sandvik comparó dos métodos de lubricación, el método de inundación con lubricante TRICUT 200 W/S a un flujo de 3,5 l/min y 6.5 l/m y el método MQL con un lubricante biodegradable Coolube 2210 EP a un caudal de 480 ml/h a 2 bares; el corte de la pieza de trabajo se efectuó a una velocidad de 200 m/min y 360 m/min. Los resultados del estudio fueron positivos en cuanto a la utilización del MQL ya que el incremento de la vida útil de la herramienta es de alrededor el 40% con respecto al sistema tradicional por inundación.

En vista de los efectos positivos que se obtienen en la utilización del aceite emulsionado en el método MQL aparecen investigaciones que muestran la compatibilidad de nanopartículas con aceites vegetales para la obtención de nano fluidos en este método [5]. En el estudio se efectúan pruebas con la aleación de aluminio 750 debido a que es un material con alto rendimiento utilizado en estructuras; la mezcla con nano partículas se efectuó con un procesador ultrasónico FS – 600N con la finalidad de que exista una mezcla homogénea del nano fluido, se evaluaron tres tipos de nano partículas: cobre, carburo de silicio y diamante;

también se seleccionaron aceites eco amigables que son biodegradables y presentan una buena lubricación, aceite de soya y canola y un aceite comercial natural⁷⁷. El proceso de maquinado se efectuó en un centro de mecanizado vertical con una velocidad de husillo de 600 r/min, velocidad de corte de 180 m/min, avance de 0,2 mm/rev, profundidad de corte de 1 mm, avance de corte de 8 mm; la herramienta de corte de diámetro de 16 mm con dos dientes, los insertos recubiertos con DLC, el sistema MQL trabajó con una presión de 0,4 MPa y un caudal de 30,24 mL/h. Los resultados de la fuerza de corte fueron positivos en cuanto a la adición de nano partículas ya que tuvieron una mejora en el rendimiento, las nano partículas de diamante y de cobre presentaron mejor rendimiento que las de carburo de silicio, el aceite de canola y el aceite comercial natural ⁷⁷ fueron mejores que el de soya; la adición de las nano partículas presentó mejores resultados que en la utilización de los aceites en estado puro. En cuanto al acabado superficial de la pieza de trabajo fueron similares, la adición de nano partículas en los aceites presentó un mejor acabado superficial en comparación del MQL con aceite puro, las partículas de nano diamante con el aceite natural ⁷⁷ presentaron el mejor resultado en cuanto al acabado superficial.

Para mejorar las prestaciones del proceso de maquinado se han insertado otros métodos de enfriamiento como el uso de CO₂ criogénico en procesos de torneado, fresado y en taladrado; la investigación de la influencia del refrigerante de CO₂ criogénico en el revestimiento de las herramientas de corte [6] utilizando una aleación de titanio Ti-6Al-4V como material de pieza de trabajo en un centro de mecanizado horizontal de 5 ejes comparando el método tradicional de inundación, mecanizado en seco, CO₂ criogénico, MQL, y una mezcla de MQL y CO₂ criogénico con una velocidad de corte de 70 a 100 m/min, profundidad de corte de 0,45 mm avance de 6 mm. Los refrigerantes utilizados fueron en el caso del método de inundación Hocut 795, MQL Aerosol Master Lubricant, y el CO₂ criogénico. El CO₂ se mantuvo en estado líquido dentro de los cilindros a temperatura ambiente y enviado a alta presión a la boquilla de CO₂ en estado líquido sin caída de presiones. Los resultados de la experimentación mostraron que el mejor rendimiento en cuanto a la vida útil de la herramienta es utilizando una mezcla de CO₂ y MQL así como también mejores prestaciones en cuando al acabado superficial.

El estudio del comportamiento del CO₂ desarrollado por Pereira y otros colaboradores en el enfoque de lubricante criogénico para el fresado de acabado de materiales aeronáuticos difíciles de cortar muestra que el CO₂ debe estar a una presión de 10 a 15 bares en la etapa intermedia, es decir antes de su salida a temperatura ambiente, el CO₂ líquido es expandido a la presión atmosférica justo a la salida de boquilla como una mezcla de gas y de CO₂ sólido, en este punto la temperatura es de -78°C; el sistema debe mantenerse sobre el punto triple para prevenir obstrucciones de los canales debido a solidificaciones. Para las experimentaciones se utilizó un acero DIN 30CRNiMo8, la velocidad de corte fue de 120 m/min, avance de 588 mm/min, profundidad de corte de 0,2 mm, presión de salida del CO₂ de 14 bares y un caudal de MQL de 100 mL/h. Los resultados mostraron que la combinación de gases criogénicos con microgotas de aceite presta una mayor duración de vida útil de las herramientas de corte, el revestimiento del flanco de las herramientas tiene una mayor duración ya que en el tiempo de la experimentación no alcanza el final de su vida útil en comparación de la utilización del MQL solo. Asumiendo que la vida útil de la herramienta alcanza un 100% cuando se lubrica mediante inundación, el maquinado en seco alcanza una duración del 46,7%, utilizando CO₂ o MQL solos alcanzan un 67,7% y 84,2% respectivamente, y finalmente aplicando el método de MQL criogénico la vida útil de la herramienta alcanza un 93,5% con respecto al método por inundación. El estudio muestra que esta opción es una buena alternativa para operaciones de maquinado más ecológicas.

Pereira y otros colaboradores elaboraron el diseño de una boquilla para combinar el uso de MQL y gas criogénico en los procesos de maquinado [7]; el diseño de la boquilla incluye un análisis por elementos finitos del fluido híbrido mediante CFD, además de las experimentaciones en cuanto a la vida útil de la herramienta de corte utilizando la combinación de MQL con CO₂ en la boquilla fabricada a modo de prueba; los resultados del diseño mostraron que el diámetro a la salida del CO₂ debe ser de 1,5 mm con una velocidad de 325 m/s para el fluido combinado con MQL lo cual brinda un alcance de 35 mm del fluido; este diámetro a su vez permite la optimización del CO₂ para evitar un consumo excesivo. La validación experimental se llevó a cabo con un material utilizado en turbomáquinas, Inconel 718. Se utilizó un centro de mecanizado de tres ejes con la tecnología del MQL +

criogénico; se comparó el maquinado en seco, MQL, CO₂, y el método de inundación. El flujo del aceite usado en el MQL y MQL + criogénico fue de 100 mL/h, CO₂ líquido inyectado a 14 bares, una herramienta de corte de diámetro de 16 mm recubierta de TiN; velocidad de corte de 120 m/min, avance de 0,12 mm/diente, profundidad de corte de 0,2 mm. Los resultados obtenidos de la vida útil de la herramienta fueron positivos en cuanto al uso de MQL + CO₂ criogénico ya que en comparación del maquinado en seco es mayor, la lubricación utilizando el método propuesto es mejor ya la vida útil de la herramienta alcanza un 93,5% en comparación de la vida útil que alcanzan las herramientas utilizando el método de inundación que representaría el 100% en esta experimentación; en este estudio se muestra la factibilidad de utilizar esta combinación para evitar el uso de aceites minerales emulsionados como fluidos de corte que pueden perjudicar el medio ambiente.

1.2.Objetivos

1.2.1. Objetivo General:

Evaluar el desgaste de las herramientas de corte y acabado superficial en el torneado del acero inoxidable AISI 304 mediante lubricación híbrida CO₂ + NanoTiO₂.

1.2.2. Objetivos Específicos:

1.2.2.1.Explorar los diferentes procesos no convencionales de lubricación y enfriamiento en el torneado del acero AISI 304

Mediante una investigación bibliográfica se determinará cuáles han sido los métodos de lubricación utilizados en las últimas décadas además del sistema tradicional de lubricación mediante inundación de taladrina con la finalidad de conocer de manera teórica cuáles han sido los resultados obtenidos en todos estos métodos y mejorar el desempeño del elemento de trabajo utilizando el método de lubricación híbrido propuesto.

1.2.2.2.Determinar los parámetros y herramientas de corte necesarios para el torneado del acero AISI 304.

Se establecerá una investigación bibliográfica para exponer las operaciones de torneado y los parámetros de corte en este proceso, al igual que la influencia del tipo de material en cuanto a la elección de la herramienta de corte. La investigación incluirá las fórmulas de cálculo que se utilizan para determinar los parámetros de corte.

1.2.2.3.Diseñar e implementar un sistema de distribución y mezcla de CO₂ en estado líquido y gaseoso para el método de lubricación híbrido de CO₂ y Nano TiO₂

En base a investigaciones previas referentes a los nuevos métodos de mecanizado se establecerá un diseño que permita controlar la mezcla de fluidos de CO₂. Para cumplir con este objetivo se seleccionarán los accesorios del sistema; junto con los parámetros de funcionamiento de este.

1.2.2.4.Determinar la rugosidad superficial alcanzada en las probetas de acero inoxidable AISI 304 mecanizadas en seco y con lubricación híbrida CO₂ + nanoTiO₂

Para determinar la rugosidad alcanzada en las probetas de acero inoxidable AISI 304 se elaborarán probetas sin la utilización de lubricantes y con el método propuesto de lubricación híbrida de CO₂ y nano TiO₂. Se evaluarán las probetas mediante la utilización de un rugosímetro SJ-210 disponible en los laboratorios de la facultad. Se utilizará la norma ISO 4287 para el proceso de evaluación de rugosidad del elemento mecanizado.

1.2.2.5.Identificar la evolución de desgaste de flanco de las herramientas de corte obtenidas tanto con el método de lubricación híbrido como en seco en el torneado del acero AISI 304.

Luego de realizar las experimentaciones con los dos parámetros en seco y con lubricación híbrida se utilizará la norma ISO 3685 para evaluar el desgaste de las herramientas de corte en función del tiempo y comparar la duración de vida útil de estas en los dos casos propuestos.

1.3.Hipótesis:

¿El método de lubricación híbrida CO₂ + Nano TiO₂ aplicado en el proceso de torneado permitirá mejorar el acabado superficial del acero inoxidable AISI 304 y aumentará la vida útil de la herramienta de corte?

1.3.1. Variable dependiente:

Acabado superficial del acero inoxidable AISI 304 y la vida útil de la herramienta de corte.

1.3.2. Variable independiente:

Método de lubricación híbrida CO₂ + Nano TiO₂ en el proceso de torneado.

1.4.Marco Teórico:

1.4.1. Métodos de refrigeración para procesos de mecanizado por arranque de viruta

El uso de refrigeración para herramientas de corte no es imprescindible, debido a que algunas operaciones se realizan en seco, sin embargo, en muchos casos la aplicación de un fluido o lubricante mejora ciertos aspectos del proceso de maquinado como el desgaste de la herramienta y el acabado superficial de las piezas. [8]

La elección del medio refrigerante depende en gran parte del material de la pieza a trabajar y entre los más comunes están los fluidos químicos y sintéticos, aceites emulsificables, fluidos o gases a presión extrema, aceites grasos y aceites minerales.

1.4.1.1.Aceites emulsificables.

Es uno de los fluidos de corte más usados en la industria gracias a sus buenas propiedades tanto de lubricación como de refrigeración, las máquinas herramientas cuentan con circuitos de refrigeración destinadas a este fluido, cuyo objetivo es bombear el aceite que al ser mezclado con agua se denomina taladrina, sobre el filo de la herramienta con la finalidad de reducir las temperaturas generadas por la fricción en los procesos de arranque de viruta.

Un gran beneficio de este tipo de fluidos es la evacuación de virutas y residuos de mecanizado, mitigación de la corrosión, y un efecto de limpieza, tanto de la máquina herramienta como del elemento a fabricar.

Los aceites de corte emulsificables se componen principalmente de aceites sintéticos, poliglicoles y esteres, algunos aditivos químicos sulfurados como parafinas y compuestos clorados también lubricantes sólidos como grafito, disulfuro de molibdeno y de zinc. Algunos perjudiciales para la salud de los operarios.

Desventajas

El caudal de suministro hacia la zona de contacto entre la pieza y la herramienta depende de las características de la máquina, aunque no todo el fluido es aprovechado, sino que se evapora o se atomiza en partículas pequeñas o niebla que contamina el ambiente de trabajo y afecta a los individuos involucrados en la producción metalmeccánica, causando enfermedades crónicas a lo largo del tiempo [9].

Cuando las taladrinas son usadas por largos periodos de tiempo sin ser reemplazadas pierden sus propiedades tanto de lubricación como de refrigeración y tienden a ser desechadas lo que conlleva a un gran daño ambiental debido a que son consideradas residuos peligrosos, y en la mayoría de los países su eliminación se encuentra regularizada y debe ser efectuada por entidades especializadas en gestión de desechos, las cuales usan métodos de tratamiento como el filtrado por osmosis inversa, para su destrucción. Por otro lado, los residuos del mecanizado no pueden ser reciclados puesto que los contaminantes de los fluidos de corte actúan como catalizadores en los procesos de fundición.

En la actualidad Varios organismos de salud ocupacional a nivel global como el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España establecen, criterios de selección, control y riesgos respecto a los fluidos de corte, con la finalidad de garantizar buenas prácticas en el manejo y control de estas sustancias garantizando la salud de los operarios.

1.4.1.2. Mecanizado con mínima cantidad de lubricante (MQL)

Es un método de enfriamiento que comprende el uso de aire comprimido por su gran poder refrigerante, y la acción lubricante del aceite. El objetivo principal es atomizar el aceite y dirigirlo a la zona de corte, con caudales entre 10 y 100 ml/h y a presiones entre 0,4 y 0,8 MPa [10].

Para constituir un sistema MQL se requieren de los elementos que se muestran en la figura 1 que se componen de un compresor, un depósito de aceite, cañerías, un sistema de control de caudal y boquillas diseñadas para pulverizar la mezcla aire aceite, el sistema puede actuar externamente (rociado directamente sobre la herramienta) e internamente por la herramienta [10].

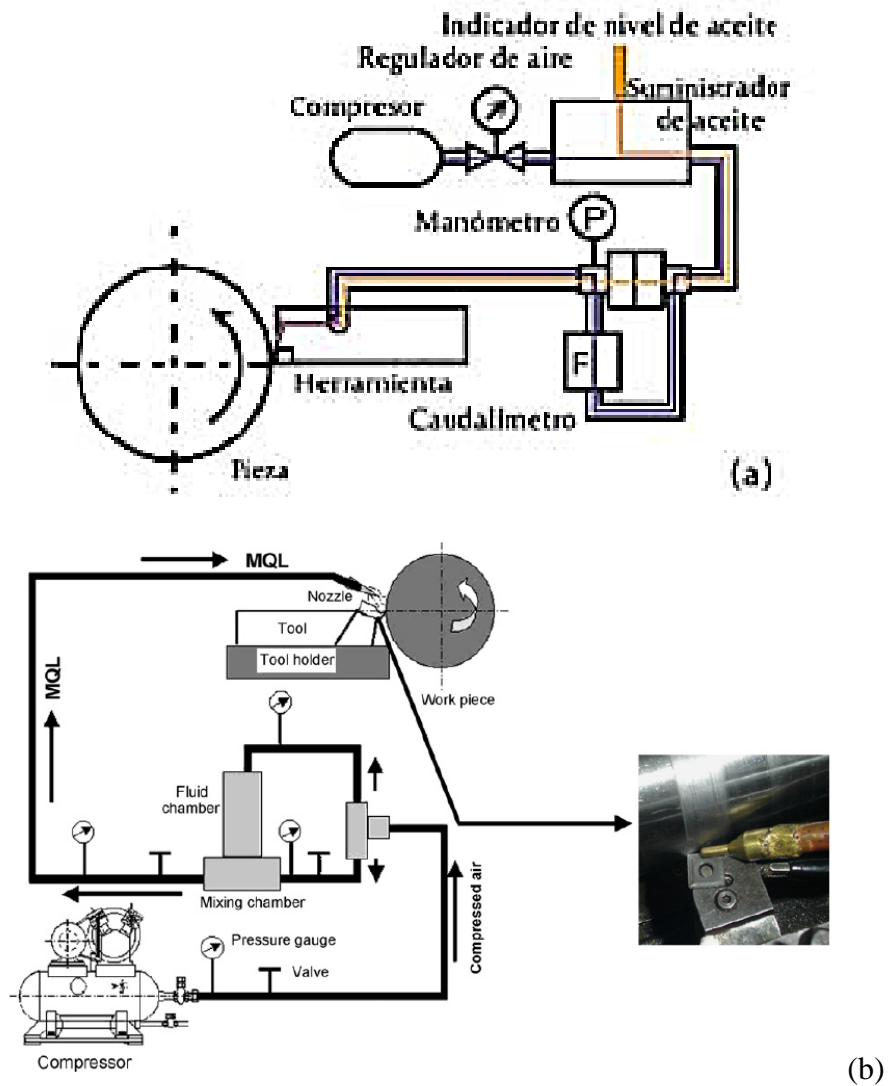


Fig. 1 Esquema de un sistema MQL Interno (a) externo (b) [10]

Métodos de mezclado de aire y aceite en un sistema MQL.

De un canal

El aceite es atomizado por la acción del aire en una cámara de mezclado lejos de la boquilla y transportado a la zona de corte por una tubería de una sola vía.

De dos canales

En este sistema tanto el aire como el aceite circulan por dos conductos diferentes y son mezclados en el interior de la boquilla, lo cual hace a este método más efectivo que el de un canal debido a que se reduce la neblina al ser más localizado [10].

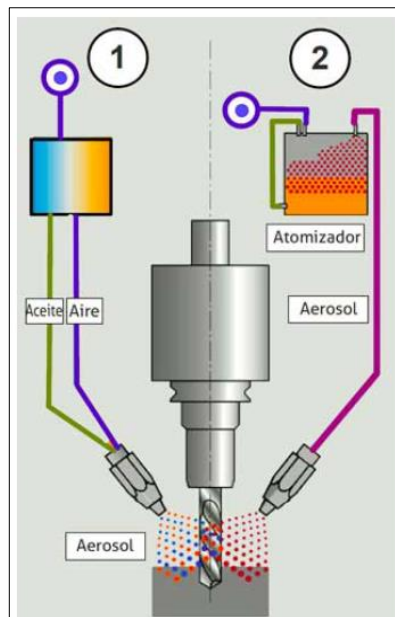


Fig. 2 Sistemas de mezclado MQL (1) un canal (2) dos canales [10]

En la figura 2 se muestran los dos tipos de sistemas y los elementos de los cuales se componen [10].

Uso de MQL en procesos de torneado.

Hay que tener en cuenta que para que un sistema MQL sea efectivo la mezcla aire aceite debe llegar adecuadamente a la zona de corte, en procesos de torneado la salida de la boquilla puede dirigirse hacia la cara de desprendimiento o hacia la cara de incidencia de la cuchilla [10].

Según estudios previos la boquilla debe ensamblarse con su salida dirigida hacia la superficie de incidencia para obtener los mejores resultados, en los casos donde la

boquilla ha sido dirigida hacia la cara de desprendimiento se alcanzaron condiciones similares a las de torneado en seco debido a que en esta posición la mezcla aire aceite no llega a alcanzar la zona de contacto entre pieza y herramienta [10].

En consecuencia a la regularización del uso de taladrinas por organizaciones de salud ocupacional a nivel mundial, el sistema MQL puede ofrecer una buena alternativa al mecanizado convencional, porque el impacto ambiental es prácticamente nulo y porque muchas empresas que han optado por esta clase de sistemas en sus líneas de producción manifiestan reducción de costos e incremento de beneficios económicos de hasta un 17 %, por que el método MQL incrementa la vida de la herramienta y no requiere de métodos de eliminación tan drásticos y costosos como las taladrinas [10].

1.4.1.3.Mecanizado en seco de alta velocidad

Se enfoca principalmente al mecanizado de alto rendimiento que tiene como principal característica las grandes velocidades tanto de avance como de corte y el uso de herramientas de altas prestaciones como carburos recubiertos, CERMET o herramientas con filos de diamante policristalino [11].

Los sistemas de mecanizado en seco ofrecen un mejor desempeño de la herramienta de corte ya que incrementa su vida útil, permite una mejor remoción del material excedente y disminuye los esfuerzos de corte, aunque en relación a otros métodos convencionales y no convencionales suele ser mucho más costoso debido a que se requieren herramientas específicas que cuenten con recubrimientos de pequeño espesor que son más costosas [11].

En numerosas investigaciones se destaca que el mecanizado en seco ofrece las mismas ventajas para acabado superficial que el mecanizado con taladrina, pero se debe tener un mayor control sobre los parámetros de maquinado como la profundidad de pasada y las velocidades de corte y avance [11].

Una gran desventaja de este método de manufactura es el costo de producción, ya que se debe contar con herramientas y máquinas especializadas; sin embargo, los costos relacionados con el medio ambiente se ven reducidos debido a la ausencia de contaminación, lo que supone que los gastos de tratamiento de fluidos peligrosos

sean nulos presenta algunos inconvenientes por el alto consumo de energía y el alto costo de las herramientas de corte [11].

La maquinaria moderna se enfoca cada vez más al mecanizado en seco debido a que es un método amigable con el medio ambiente y con la salud del operario.

1.4.1.4. Nano partículas de dióxido de Titanio

El dióxido de Titanio TiO_2 es un óxido anfótero estable, químicamente semiconductor tipo n, sensible a la luz, que absorbe radiación electromagnética del tipo UV. lo que lo hace capaz de mantener su color incluso al permanecer expuesto a radiación solar [12].

Las aplicaciones en la industria del TiO_2 es muy amplia, aunque su uso principal es como colorante blanquecino por sus buenas propiedades de absorción electromagnética, entre otras aplicaciones se destaca la de fotocatalizador, degradador de moléculas orgánicas en métodos de purificación del agua y recubrimiento anticorrosivo [12].

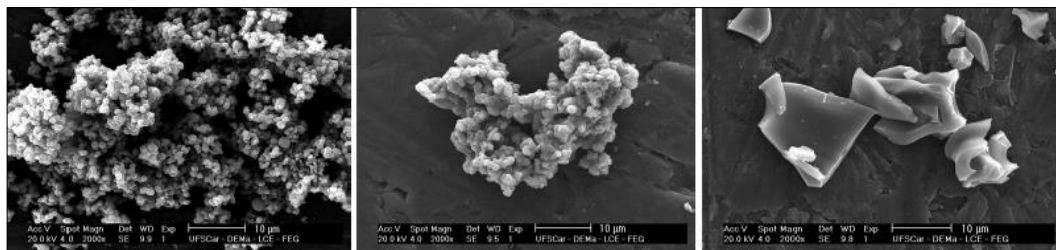


Fig. 3 Micrografía de dióxido de titanio obtenidas químicamente y tratadas a 450°C [12]

Para que el dióxido de titanio sea considerado como nanopartícula sus dimensiones no deben exceder los 100 nm, aunque existen rangos de tamaño como:

En la figura 3 se visualizan tres tipos de partículas que se pueden utilizar del dióxido de titanio:

Ultrafino. Entre 1 y 100 nm

Fino. Entre 100 y 2500 nm

Grueso. Entre 2500 y 10000 nm

Para la obtención de dióxido de titanio en forma de nanopartículas se requieren procesos químicos de alto rendimiento y el compuesto a ser transformado debe ser de alta pureza.

1.4.1.5. Fluidos criogénicos

Son sustancias que tienen su punto de ebullición por debajo de los $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ a presión atmosférica, comúnmente, son gases comprimidos a temperaturas extremadamente bajas en recipientes especialmente diseñados para ese fin. Entre los fluidos criogénicos más ampliamente usados en la industria está el nitrógeno líquido, oxígeno líquido y CO_2 .

1.4.1.5.1. Fluidos criogénicos usados en el proceso de mecanizado

Nitrógeno líquido

En varias investigaciones en donde se ha usado como refrigerante criogénico de herramientas de corte gases criogénicos como el nitrógeno líquido se han obtenido buenos resultados como el mejoramiento de las propiedades mecánicas, principalmente la dureza, resistencia máxima y resistencia al impacto del material de la herramienta de corte, aunque una leve disminución en la tenacidad de impacto despreciable en comparación con los demás beneficios provistos a la herramienta por el fluido criogénico. [13]

Dióxido de carbono

Es un gas inerte compuesto químicamente por un átomo de carbono unido con enlaces covalentes dobles a dos átomos de oxígeno, industrialmente es obtenido a partir de manantiales naturales de CO_2 , hornos de piedra caliza y por procesos de fermentación de corriente de gas de plantas químicas y petroquímicas [14].

Al ser un gas no inflamable y que no reacciona con ninguna sustancia es muy preferido en la industria y para fines médicos, pero en los últimos años ha ganado popularidad como refrigerante criogénico en sistemas de refrigeración mecánica por sus beneficios ambientales [14].

Frente a otros fluidos criogénicos el CO_2 presenta grandes ventajas en usos de refrigeración de herramientas de corte, puesto que en su fase líquida no presenta temperaturas tan bajas como el nitrógeno líquido que pueden fragilizar y dañar los

componentes de las máquinas herramientas además de su alto costo y escasa disponibilidad. Y al ser un gas inactivo no produce corrosión en los elementos mecanizados. Por ello puede usarse como método de refrigeración no convencional que puede reemplazar el uso de aceites emulsificables siendo aplicado individualmente o en combinación con otros sistemas como el MQL [14].

1.4.1.6. Influencia del método de refrigeración de la herramienta de corte en el acabado superficial

La calidad superficial en elementos mecanizados influye en las propiedades mecánicas y metalúrgicas más importantes del elemento mecanizado como la fatiga y resistencia a la corrosión, y de ello depende la vida útil de la pieza [15].

La topología de la superficie se mide en función de las desviaciones producidas del elemento respecto a la superficie nominal, el proceso de maquinado o manufactura del elemento y sus parámetros como velocidad de corte, avance y refrigeración de la herramienta de corte influyen en la calidad superficial [15].

El desgaste de la herramienta es un factor que tomar en cuenta para obtener un buen acabado superficial debido a que en el proceso de corte se genera fricción por el contacto de la herramienta en la superficie de corte a grandes velocidades, lo que supone un incremento de temperatura que tiene como consecuencia inclusiones de material en el filo de la herramienta, deformaciones, recrecimientos de filo y roturas. Por esto es importante mitigar la fricción y la elevación de temperatura de la zona de corte, para ello existen varios métodos con muchas ventajas y desventajas. El uso de refrigeración y lubricación es imprescindible para obtener buenos resultados de acabado superficial principalmente en materiales como los aceros al carbono, sin embargo para aceros aleados y aceros inoxidable se debe optar por medios de refrigeración mucho más agresivos que los convencionales que mantengan la zona de corte a una temperatura óptima, eliminen los residuos de mecanizado y a la vez disminuyan la fricción, aunque en la actualidad el mecanizado de alto rendimiento usa herramientas más resistentes y parámetros de maquinado más altos que permiten que el proceso de corte sea en seco, pero aún está limitado por sus altos costos [15].

1.4.2. Proceso de Torneado

Es un proceso de arranque de viruta que se efectúa con utilización de una máquina que permite la rotación o giro de la pieza de trabajo en la cual se va a mecanizar empleando una herramienta de corte que es desplazada horizontalmente hasta entrar en contacto con la pieza de trabajo para conseguir la eliminación del material de trabajo en forma de virutas; en la mayoría de los casos se utiliza un método de lubricación que se ajuste a las especificaciones del elemento a fabricarse. Este proceso se utiliza para conseguir elementos de revolución [16].

1.4.2.1. Operaciones en Torneado

Las operaciones en el proceso de torneado pueden darse en función del tipo de acceso de la herramienta de corte, este puede ser radial y axial. En las figuras 4 a la 10 se muestran las posiciones que adopta la herramienta de corte para efectuar un proceso de torneado específico [16].

Cilindrado:

Operación con acceso de la herramienta de forma radial, se efectúa en el exterior de la pieza de trabajo o eje a lo largo de la longitud de esta, suelen brindarse varias pasadas o avances de movimientos de corte con la finalidad de obtener un mejor acabado superficial [16].

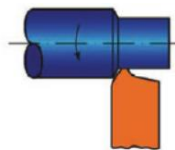


Fig. 4 Torneado – cilindrado [16]

Refrentado:

Operación de acceso radial que se enfoca en la obtención de una superficie plana en la cara frontal del eje o pieza de trabajo, el movimiento de la herramienta en esta operación se efectúa de adentro hacia afuera o viceversa [16].

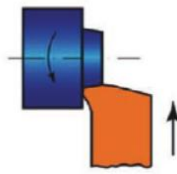


Fig. 5 Torneado – refrentado [16]

Cilindrado cónico:

Operación de acceso radial similar al cilindrado simple, sin embargo, en este caso el avance de la herramienta de corte se enfoca en tener un gradiente de profundidad hasta alcanzar la forma cónica [16].

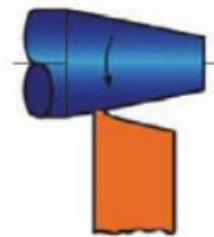


Fig. 6 Torneado - cilindrado cónico [16]

Ranurado:

Operación de acceso radial que tiene como finalidad elaborar cortes o biseles en cualquier sección de la pieza de trabajo o eje puede alcanzar varias profundidades y se puede elaborar en varias secciones de un mismo elemento. También se da la posibilidad de obtener ranurados en disposición axial. En la figura 4 a se muestra un ranurado radial, mientras que en la figura 4 b un ranurado axial [16].

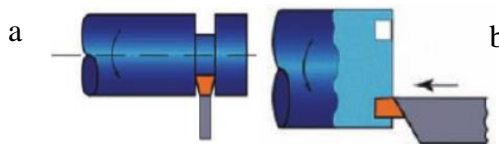


Fig. 7 Torneado – ranurado [16]

Corte o tronzado:

Operación de acceso radial, es similar a la operación de ranurado con la diferencia de que en esta se consigue separar por completo en secciones diferentes a la pieza de trabajo, incluir este tipo de operaciones en la fabricación brinda un mejor acabado superficial a diferencia de cortar el elemento con una sierra [16].

Roscado:

Operación de acceso radial y axial dependiendo si la rosca es externa o interna respectivamente, se elabora la rosca en función del número de hilos, paso, etc.

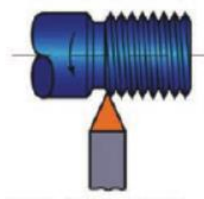


Fig. 8 Torneado – roscado [16]

Taladrado:

Operación de acceso axial que permite efectuar agujeros en la parte interna de la pieza de trabajo a distintas profundidades, se utiliza con la finalidad de preparar el interior del elemento para el mecanizado de otras geometrías [16].



Fig. 9 Torneado – taladrado [16]

Escariado:

Operación de acceso axial que brinda un mejor acabado superficial en agujeros previamente perforados, da la posibilidad de contar con una mayor precisión [16].

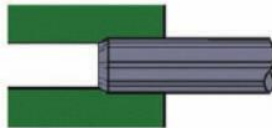


Fig. 10 Torneado – escariado [16]

1.4.2.2. Parámetros de trabajo del proceso de torneado

Todas las operaciones del proceso de torneado se rigen bajo parámetros que permiten el giro de la pieza de trabajo, el avance de la herramienta de corte y la profundidad de corte; en la figura 11 se puede observar el tipo de movimientos de la herramienta definidos posteriormente como velocidades [17].

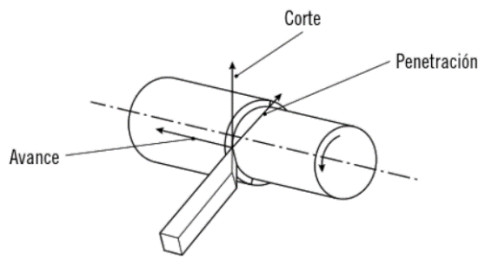


Fig. 11 Movimientos relativos presentes en la pieza – herramienta [17]

Velocidad de corte:

Velocidad lineal presente en la parte exterior de la pieza de trabajo en dirección tangencial como se muestra en la figura 12, dirige el movimiento de la herramienta de corte que se encuentra en contacto directo con la zona de corte. Representa el movimiento principal del torno ya que con este parámetro se retira el material en forma de viruta; se expresa en m/min [17]. Para seleccionar la velocidad óptima de corte se deben tomar en cuenta parámetros como:

- Maquinabilidad del material
- Tipo de herramienta de corte, por lo general los fabricantes especifican varias velocidades de corte que pueden ser utilizadas para distintos períodos de vida útil de la herramienta.
- Profundidad de la pasada de corte, esto puede variar en función del subproceso que puede ser desbaste o acabado superficial [17].

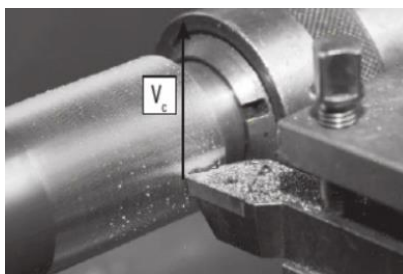


Fig. 12 Velocidad de corte V_c [17]

Se calcula mediante la ecuación 1 que se muestra a continuación:

$$V_c = \frac{\eta * \pi * D}{1000} \tag{1}$$

Donde:

V_c = velocidad de corte (m/min)

η = velocidad de giro del cabezal (rpm)

D = diámetro de la pieza a mecanizar (mm)

Utilizando la misma fórmula se puede optar por calcular la velocidad de giro del cabezal, para lo cual se despeja η

Velocidad de avance:

Rapidez con la que se desplaza la herramienta de corte respecto a la pieza de trabajo como se muestra en la figura 13, afecta el consumo de energía y efectos térmicos en el proceso que pueden influenciar en las propiedades del elemento de trabajo y en la herramienta. Se expresa en mm/min [17].

Esta velocidad también debe ser seleccionada en función de varios parámetros que posibiliten un mejor rendimiento en el proceso, algunos de estos son:

- Tipo de herramienta de corte; de las recomendaciones del fabricante se extrae el avance por revolución " f " expresado en mm/rev específico para cada herramienta.
- Profundidad de la pasada, de esto depende el volumen de la viruta que se obtendrá, está ligada al tipo de subproceso que puede ser de desbaste o acabado superficial.
- Características de la máquina como el tipo de motor de avance, rigidez de los elementos de sujeción; esta última es importante porque previene la aparición de deformaciones por vibraciones en la pieza de trabajo [17].

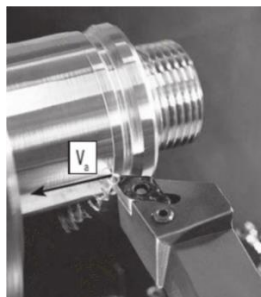


Fig. 13 Velocidad de avance V_a

Se calcula mediante la ecuación 2 detallada a continuación:

$$V_a = \eta * f \quad (2)$$

Donde:

Va = velocidad de avance (mm/min)

η = velocidad de giro del cabezal (rpm)

f = velocidad de avance por revolución (mm/rev) proporcionada por el fabricante de la herramienta de corte

En la tabla 1 se muestra un resumen de las características del proceso a diferentes velocidades tanto de corte como de avance.

Tabla 1 Características del proceso de torneado a diferentes velocidades

Velocidad	Corte	Avance
Alta	Disminución de la vida útil de la herramienta Desgaste del filo de corte de la herramienta Acabado superficial de mala calidad Aumento de costos por cambio de la herramienta	Riesgo de rotura de la herramienta Menor desgaste del filo cortante Elevada rugosidad Menor tiempo de mecanizado
Baja	Deficiente retirada de la viruta Acumulación de viruta en el filo de la herramienta Baja productividad en el proceso Costo elevado de producción	Viruta de mayor longitud Mayor desgaste de la herramienta Mejor acabado superficial Mayor duración y costo del proceso

Fuente: Autores

1.4.2.3.Herramientas de corte:

La precisión requerida en los procesos de torneado procura que se utilicen herramientas modulares de exactitud, estas herramientas se basan en sistemas normalizados. Existen elementos como cuchillas de corte que son fabricadas de materiales duros y variados ángulos de afilado; otros tipos de herramientas de corte son las plaquitas, elementos de corte fabricados en materiales duros con una gran

variedad de formas y ángulos para diversos trabajos, estas son las más utilizadas, los elementos que las conforman estas herramientas de corte se muestran en la figura 14 a que muestra una sujeción de plaquitas con tornillo, mientras que la figura 14 b muestra una sujeción con bridas [18].

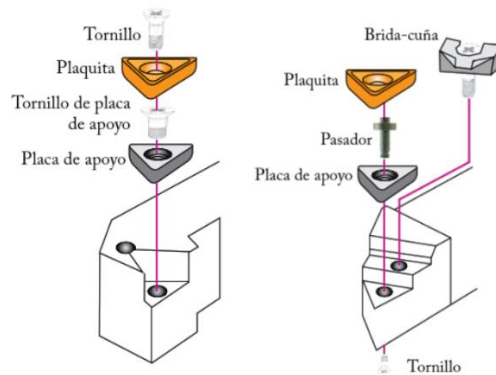


Fig. 14 Elementos de sujeción de las plaquitas [18]

La gran variedad de plaquitas existentes en el mercado se puede clasificar en función del trabajo que realizan; así como también calidades de torneado en función del material.

- Plaquitas de torneado de acero
- Plaquitas de torneado de acero inoxidable
- Plaquitas de torneado de fundición
- Plaquitas de torneado de materiales no ferrosos
- Plaquitas de torneado de titanio y superaleaciones termorresistentes
- Plaquitas de torneado de acero templado

La selección del inserto adecuado para la operación de torneado está basada en los parámetros que se presentan en la tabla 2 [18].

Tabla 2 Condiciones de selección del inserto para torneado.

Parámetro	Definición
Material	Acero Inoxidable AISI 304.
Operación	Torneado exterior cilindrado.
Diámetro del eje	50,8 mm.
Condición superficial por alcanzar	Acabado.
Porta insertos disponible.	Rómbico serie MCLNR2020K12

1.4.3. Sistema de lubricación híbrida

El sistema de lubricación híbrida se compone del sistema de distribución de CO₂ y de su unión con el sistema MQL; a continuación, se describen los parámetros que rigen estos dos sistemas:

Sistema de distribución de CO₂

El CO₂ tiene varias presentaciones en el mercado; su comportamiento se basa en el diagrama de fases en donde se debe manipular la presión para poder obtener la temperatura y la fase deseada. La ventaja de la utilización del CO₂ es su menor costo en comparación de otros gases inertes, además del beneficio que se obtiene en los procesos de mecanizado al poder facilitar una disminución de temperatura a escala criogénica [7].

El suministro del CO₂ se realiza en presentaciones de cilindros con una presión interna de 57 a 60 bares a una temperatura de 20° C; cuando la salida del CO₂ se efectúa a presión atmosférica, su fase es gaseosa; mientras que en el punto triple a 5,2 bares y -56,6 °C, el CO₂ se puede presentar en los tres estados físicos [19].

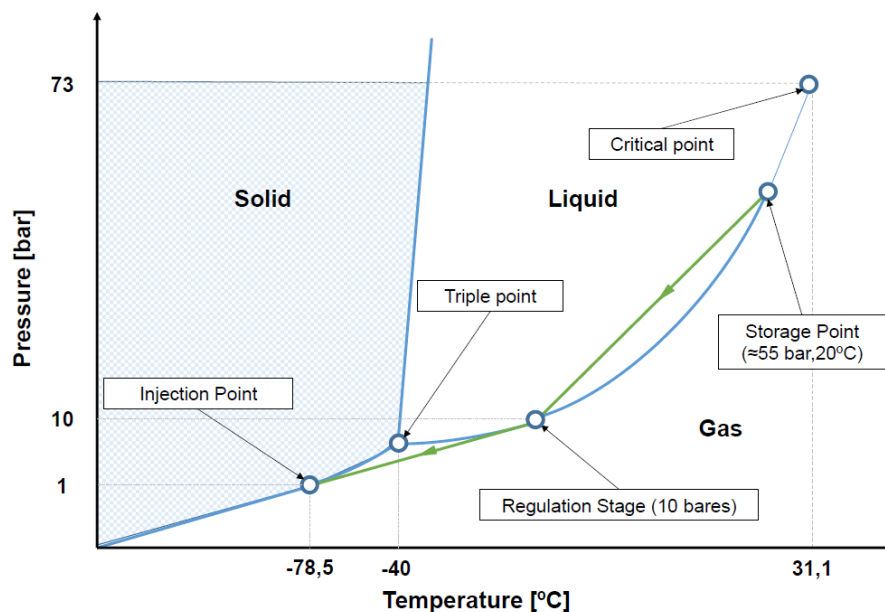


Fig. 15 Diagrama de fases del CO₂ [7]

En la figura 15 el trayecto marcado con flechas muestra el comportamiento del CO₂ que debe regir en el sistema de distribución; desde la presión de almacén de 60 bares debe transitar hacia una etapa de regulación a 10 a 15 bares debido a las

posibles fugas y pérdidas de presión; posteriormente el CO₂ debe expandirse a presión atmosférica justo en la salida de la boquilla que direcciona el CO₂ con el MQL al área de mecanizado; en esta última etapa de inyección se obtiene un flujo mixto de CO₂ en estado gaseoso y CO₂ sólido. Las temperaturas del último punto del sistema de distribución de CO₂ son cercanas a -78°C. Se debe vigilar que el sistema opere en presiones superiores al punto triple de 5,2 bares para evitar solidificaciones en el trayecto [7].

Sistema de mínima cantidad de lubricante MQL

Este sistema permite una mínima utilización de fluido lubricante y opera bajo un caudal de 480 ml/h y una presión de salida de 2 bares; el fluido lubricante es un aceite vegetal COOLUBE 2210EP que es 100% biodegradable [4].

Se debe proporcionar un flujo de aire comprimido al sistema mediante un compresor; este aire comprimido entra en el sistema MQL; el sistema debe estar acoplado a una unidad de mantenimiento para separar la humedad y filtrar el aire de partículas de polvo [20].

Adición de las nano partículas de TiO₂

Se debe realizar una preparación previa del aceite que ingresará al sistema de lubricación MQL con las nano partículas, para lo cual en estudios anteriores se ha determinado que el mejor rendimiento se evidencia con una concentración del 0,5% de las nano partículas; en función del contenido de aceite que se desee preparar. Como primer paso previo a la mezcla con el aceite se debe realizar una adición de las partículas con etilenglicol [20].

El aceite UNIST COOLUBE 2210 debe mezclarse homogéneamente mediante un agitador electromagnético compuesto de una barra magnética recubierta de teflón que es accionada por un campo magnético generado por un conjunto de electroimanes dispuestos en forma circular [21].

Los componentes por mezclar se vierten en un contenedor que puede ser un vaso de precipitación o matraz que es situado sobre la una placa metálica como se aprecia en la figura 16; el tiempo de la mezcla es de 4 horas.



Fig. 16 Agitador electromagnético [22]

1.4.4. Rugosidad Superficial

La rugosidad superficial determina el estado de la superficie de un elemento o la calidad de esta, que varía en función de la utilidad o aplicación que se le va a dar al elemento mecanizado, estos elementos son aquellos a los cuales se les ha brindado un proceso de trabajo en máquinas mediante arranque de viruta con la finalidad de mejorar el grado de calidad superficial [23].

Se puede considerar la rugosidad superficial como el resultado de la geometría de la herramienta y la velocidad de avance; a su vez, es el resultado de la irregularidad del proceso de corte que incluye las vibraciones de la máquina herramienta, la estructura del material entre otras [24].

El valor de la rugosidad superficial ideal promedio se determina con la ecuación 3 [24].

$$Ra = \frac{f^2}{32r} \quad (3)$$

Ra es el valor promedio de rugosidad superficial ideal.

f es el avance (mm/rev)

r es el radio de la herramienta (mm)

El valor de Ra no proporciona información sobre las irregularidades de forma o de superficie ya que es el valor promedio de la rugosidad de un elemento; sin embargo, es el parámetro más común para las mediciones debido a que elementos no típicos en la superficie como las picaduras, no tienen gran influencia en el valor total de la

rugosidad [25]. La figura 17 muestra de manera gráfica la derivación de la desviación media aritmética de la rugosidad R_a .

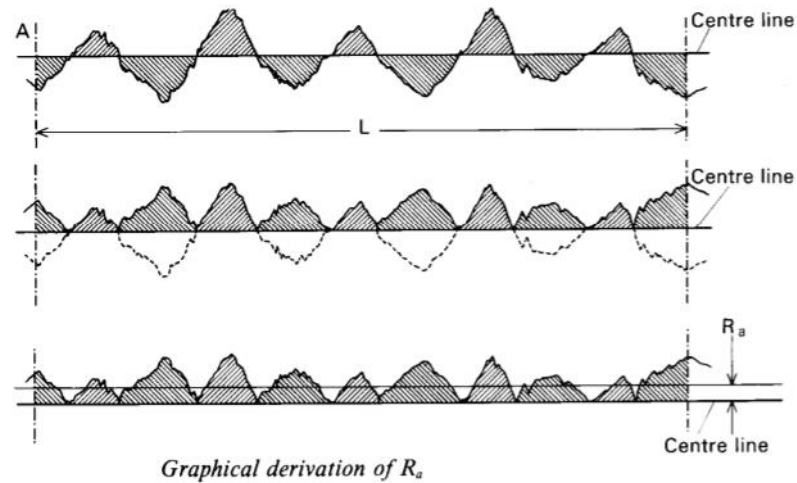


Fig. 17 Derivación de la desviación media aritmética [25].

A continuación, en la tabla 3 se muestra la aplicación de estados superficiales de mecanizado y su rugosidad.

Tabla 3 Estados superficiales

Clase de superficie	Rugosidad μ	Calidad de superficie	Aplicaciones
Superrefinado	0,04 – 0,06	Especial	Superficies destinadas a medición, calibres de deslizamiento altamente fatigados, ajustes de precisión no desmontables.
	0,1 – 0,16	Máxima	
Refinado: No se visualizan las estrías fácilmente.	0,25 – 0,4	Muy buena	Superficies de deslizamiento muy fatigadas, ajustes de precisión desmontables.
	0,6 – 1 – 1,6	Buena	Elementos sometidos a fatigas por flexión y torsión; ajustes de deslizamiento y presión.

Tabla 4 Estados superficiales (Continuación)

Clase de superficie	Rugosidad μ	Calidad de superficie	Aplicaciones
Afinado: Se puede visualizar las estrías, pero no son perceptibles al tacto.	2,5 – 4 6 – 10	Media	Ajustes de reposo que no transmiten fuerzas, superficies de deslizamiento poco fatigadas.

Fuente: Autores

Mediante la tabla 4 se presenta un resumen de los estados superficiales según los procesos normales de fabricación que han sido normalizados en función del valor de rugosidad obtenido [23].

Tabla 5 Procesos normales de fabricación [23]

Clase de trabajo	Poco esmerado			Esmerado			Fino			Refinado			
	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5
Clase de rugosidad													
Símbolo													
Rugosidad en micrones	50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,80	0,40	0,20	0,10	0,05	0,025	0,012
Rugosidad en micropulgadas	2000	1000	500	250	125	63	32	16	8	4	2	1	0,5
Oxicorte	[Bar chart showing range from 12 to 10]												
Aserrado	[Bar chart showing range from 12 to 10]												
Cepillado, limado	[Bar chart showing range from 11 to 10]												
Taladrado	[Bar chart showing range from 11 to 10]												
Fresado	[Bar chart showing range from 11 to 10]												
Brochado	[Bar chart showing range from 11 to 10]												
Escarinado	[Bar chart showing range from 11 to 10]												
Mandrinado, torneado	[Bar chart showing range from 11 to 10]												
Rectificado cilíndrico	[Bar chart showing range from 11 to 10]												
Pulido cilíndrico	[Bar chart showing range from 11 to 10]												
Rectificado	[Bar chart showing range from 11 to 10]												
Alisado	[Bar chart showing range from 11 to 10]												
Bruñido	[Bar chart showing range from 11 to 10]												
Lapeado	[Bar chart showing range from 11 to 10]												
Superacabado	[Bar chart showing range from 11 to 10]												
Fundición en arena	[Bar chart showing range from 12 to 10]												
Fundición en coquilla	[Bar chart showing range from 11 to 10]												
Fundición a presión	[Bar chart showing range from 11 to 10]												
Forjado	[Bar chart showing range from 11 to 10]												
Extruido	[Bar chart showing range from 11 to 10]												
Trefilado en frío	[Bar chart showing range from 11 to 10]												

Las rugosidades superficiales expuestas, son obtenidas por procesos normales de fabricación.

Otro parámetro de la calidad superficial es la rugosidad R_z que indica la altura de diez puntos de las irregularidades en una longitud de muestreo, este parámetro por sí solo no indica mucha información y a menudo se divide en la altura del pico más alto sobre la línea media y la profundidad del valle más bajo de la línea media [26].

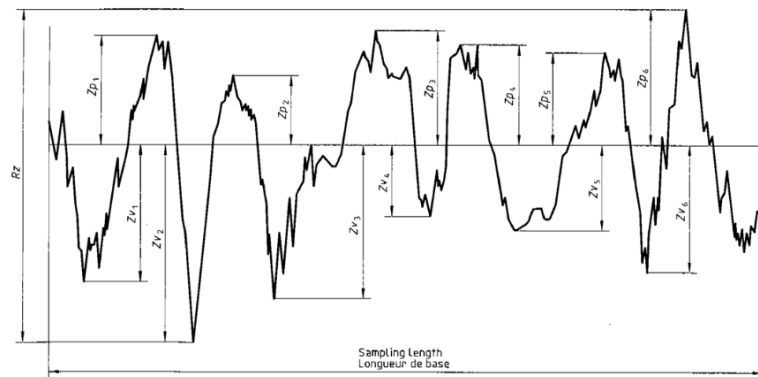


Fig. 18 Máxima altura del perfil de rugosidad [26]

En la figura 18 se muestra el valor de Rz que corresponde al valor de la suma de Zp que es el pico del perfil más alto y Zv que es la profundidad del valle más grande dentro de la longitud de muestreo.

1.4.5. *Desgaste y vida de la herramienta de corte*

El desgaste de la herramienta es un problema que produce efectos indeseables en el maquinado de elementos, algunos de estos son: menor exactitud dimensional del elemento mecanizado, posibles daños en el elemento mecanizado, disminución de la calidad superficial y aumento de vibraciones en el proceso, entre otras [27].

El tiempo de vida de la herramienta se puede medir como el período de trabajo durante el cual la herramienta mantiene su geometría y propiedades iniciales. El desgaste y la vida de la herramienta están muy relacionados, además, este parámetro influye en aspectos económicos, medioambientales, energéticos, y funcionales. Existen parámetros tales como el material del elemento a mecanizarse, características de la herramienta de corte, condiciones de lubricación [28].

1.4.5.1. *Mecanismos de desgaste:*

Entre algunos de los parámetros que influyen en el desgaste de las herramientas de corte, se encuentran, la elevada temperatura en la zona de corte, esfuerzos mecánicos que alteran la geometría, propiedades físicas y químicas de la herramienta, el material del elemento que está siendo mecanizado, condiciones de lubricación, y la velocidad de corte, etc. Bajo estas condiciones, el tiempo de vida útil de la herramienta de corte, corresponde al período en el cual esta herramienta conserva su geometría y propiedades iniciales [28].

El desgaste de la herramienta de corte es progresivo, sin embargo, pueden existir fallos instantáneos debido a condiciones extremas. Este tipo de desgaste puede ser controlado para extender su período para lo cual se debe conocer todos los mecanismos que inciden en la herramienta [28].

Desgaste de incidencia: es un desgaste abrasivo y es el más habitual ya que permite la predicción de la vida útil de las herramientas de corte, se produce debido al contacto directo con el material duro de la pieza a mecanizarse [29].

Desgaste químico: se localiza en la cara de desprendimiento de la plaquita debido a reacciones químicas que se producen entre distintos materiales, el de la plaquita, y el de la pieza a mecanizarse. Se produce por lo general en materiales de bajo carbono como el acero inoxidable y el aluminio, en especial cuando se realiza el trabajo en velocidades de corte baja [29].

Desgaste adhesivo: es provocado por el soldeo de la viruta del material de la pieza mecanizada y la plaquita, debido a la presión ejercida en el proceso de mecanizado. Se caracteriza por un deterioro excesivo localizado en la cara de desprendimiento [29].

Desgaste térmico: se produce cuando la temperatura de corte es demasiado alta, a su vez, cuando la temperatura de corte cambia bruscamente de caliente a fría por una deficiente lubricación. Otra de las causas de este tipo de desgaste es cuando el proceso tiene cortes intermitentes [29].

Desgaste mecánico: es el resultado de una sobrecarga de la resistencia a la tracción mecánica. Se presenta cuando hay profundidades de corte o avances demasiado grandes, inclusiones de arena o vibraciones [29].

El desgaste de la herramienta de corte, también se puede asociar a cualquier alteración de la geometría de la herramienta y de sus propiedades iniciales, dentro de este concepto, se puede considerar como desgaste no solo a la pérdida de material, sino también a la incrustación de material en la herramienta de corte. Así, se puede distinguir dos casos en los que puede incorporarse material, según la localización de adición de material, filo recrecido cuando el material se adhiere a los filos de la herramienta de corte, y cada adherida cuando el material se incorpora e la zona de desprendimiento, estas zonas se especifican en la figura 19. Este tipo

de desgaste también afecta a la vida útil de la herramienta debido a que al cambiar la geometría de la herramienta, las fuerzas de corte y consumo de energía de mecanizado que desvían el trabajo de las condiciones o parámetros de calidad establecidos [28].

1.4.5.2. Localización del desgaste

Existen dos zonas donde se produce el desgaste, el desgaste en incidencia que se produce por el rozamiento entre la cara de incidencia de la herramienta y la superficie de la pieza mecanizada, esta zona es paralela a la dirección de corte; otra zona de desgaste es en la zona de desprendimiento que se origina por la viruta que sale a través de la cara de desprendimiento de la herramienta. En la figura 19 se muestran las zonas en donde se produce el desgaste de la herramienta de corte; en la cara de incidencia se evalúan los parámetros más usuales para la determinación de la vida útil de la herramienta, que corresponden a los valores de V_B y $V_{B\text{ máx}}$ [28].

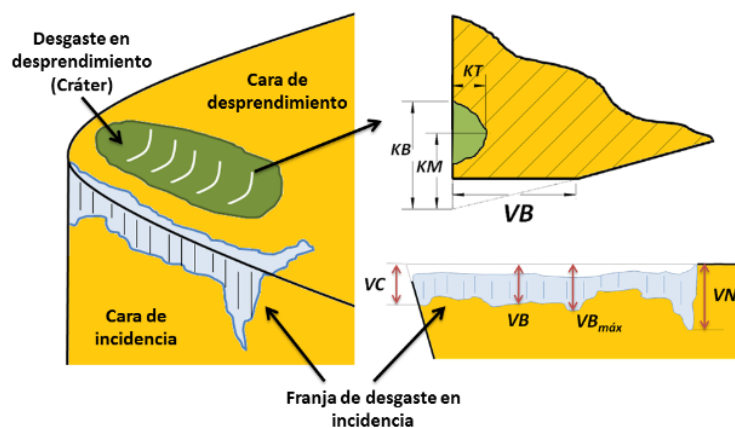


Fig. 19 Zonas de localización de desgaste [28]

Desgaste del flanco de las herramientas de corte

El desgaste de incidencia es el desgaste de flanco de la herramienta que constituye el parámetro más utilizado para evaluar la vida útil de una herramienta de corte, y así evitar los efectos descritos [27].

Zonas de desgaste en el flanco:

En la figura 20 se puede apreciar las zonas de desgaste que pueden estar presentes en la herramienta de corte, sin embargo, la zona de evaluación es la zona B de acuerdo con la norma ISO 3685 de evaluación del desgaste de la herramienta.

Zona C: es la parte curva del filo en la esquina de la herramienta.

Zona B: es la parte recta restante del borde cortante entre la zona C y la zona A.

Zona A: es el cuarto de la longitud del filo desgastado más alejado de la esquina de la herramienta.

Zona N: se extiende más allá del área de contacto mutuo entre la herramienta y la pieza de trabajo durante aproximadamente 1 mm a 2 mm a lo largo del borde de corte principal. El desgaste es de tipo muesca.

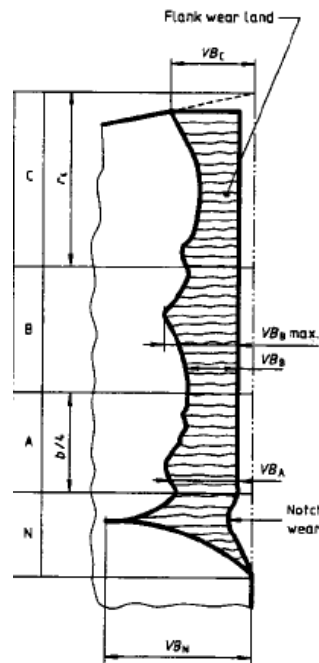


Fig. 20 Zonas de desgaste del flanco de la herramienta [30]

1.4.6. Morfología de la viruta

La forma de la viruta se vincula con la calidad superficial del elemento mecanizado y la vida útil de la herramienta y continuidad del proceso, existen variables que influyen en la morfología de la viruta tales como la velocidad de corte, avance, profundidad de corte, propiedades del material a mecanizar y geometría de la herramienta.

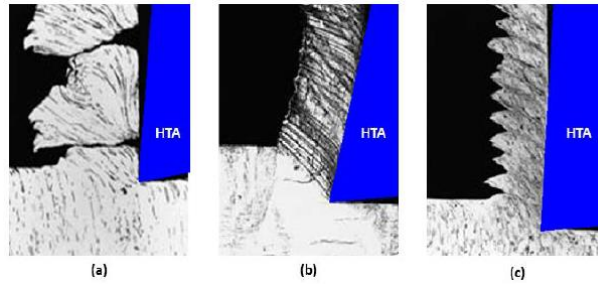


Fig. 21 Tipos de viruta: a) Fragmentada, b) Continua, c) Segmentada [28]

En la figura 21 se visualizan tres tipos de virutas: fragmentada, continua y segmentada.

1.4.6.1. Viruta fragmentada

La figura 21a corresponde a este tipo de virutas que se producen cuando se aplica una fuerza de corte que supera el límite de rotura del material mecanizado, en condiciones de corte de baja velocidad de corte, altos avances y profundidad de corte, también se presenta en elevada fricción entre viruta – herramienta. Este tipo de virutas resultan como evidencia de una superficie irregular y acabados superficiales muy pobres [28].

1.4.6.2. Viruta continua

Este tipo de virutas se observan en la figura 21b se producen por cizalladura pura del material cuando se desliza la herramienta con la cara de desprendimiento; las condiciones de corte en las que se produce son velocidades de corte entre el rango de medio y altas, avance y profundidades de corte moderadas. También aparecen cuando se mecanizan materiales dúctiles y reducción del rozamiento entre la herramienta de corte con filos agudos y la viruta. El acabado superficial que evidencian este tipo de virutas es aceptable, y tienden a enredarse en el portaherramientas obstruyendo el proceso [28].

1.4.6.3. Viruta segmentada

También pueden considerarse como virutas semicontinuas, este tipo de virutas se muestran en la figura 21c, el borde que tiene contacto directo con la herramienta tiene aspecto de dientes de sierra. Se producen en materiales de baja conductividad térmica [28].

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Materiales

Son los medios físicos que se utilizaron para realizar el estudio experimental y el análisis de datos.

2.1.1. Probetas de acero AISI 304

Acero inoxidable austenítico, aleación cromo níquel resistente a corrosión intergranular por agentes químicos ambientales, adecuado para procesos de embutido y mecanizado por arranque de viruta, generalmente es el más usado en la industria ya que posee buenas características mecánicas y alta resistencia a agentes corrosivos. Por disponibilidad para la investigación se ha seleccionado la marca Böhler, en la tabla 5.

Tabla 6 Propiedades físicas y mecánicas del acero Böhler ANTINIT 304L (AISI 304L) [31]

Propiedades físicas y mecánicas		Valor
Ensayo por choque sobre probeta entalle mínimo.		137 J
Ensayo Erichsen estiramiento de chapa		-12 mm
Límite de fluencia ensayada en probeta caliente.	100°C	147 N/mm ²
	200°C	127 N/mm ²
	300°C	108 N/mm ²
	400°C	98 N/mm ²
Dureza Brinell		160 HB
Límite de fluencia		216 N/mm ²
Resistencia a la tracción		490-686 N/mm ²
Porcentaje de elongación		50 %
Peso específico		7,9 kg/dm ³
Módulo de elasticidad		20,3 GPa
Conductividad Térmica a 20°C		0,035 Cal/cm s°C

Dimensionamiento de las probetas































La norma ISO 3685 no establece las dimensiones de las probetas para en ensayo de vida útil de la herramienta, sin embargo, concierta que las mediciones serán realizadas por periodos de tiempo hasta que el criterio de desgaste de flanco sea inaceptable, por lo que se efectuaron mediciones cada 5 minutos para medir la rugosidad; con esta finalidad, se tomó como referencia un diámetro de eje de 38,1 mm con una longitud de desbaste de 100 mm y un margen de seguridad de 20 mm, sin embargo por cuestiones de sujeción y estabilidad la probeta se diseñó de 220 mm para empezar desbastando un extremo y continuar con el otro cuando el diámetro sea demasiado pequeño haciendo susceptible a la probeta a vibración.

2.1.2. Plaquetas de carburo sinterizadas para el proceso de torneado

El trabajo de investigación se llevó a cabo con la finalidad de dar continuidad a investigaciones previas por lo que el fabricante establecido del inserto es SANDVIK COROMANT.

Del catálogo del fabricante tomando en cuenta la geometría de la porta insertos disponible, el sentido de la operación de torneado y el tipo de sujeción del mango se seleccionó la forma y la serie de la plaqueta como se detalla en la tabla 6.

Tabla 7 Insertos de torneado 80° [32]

	T-Max® P Rómbica 80° 75° (15°)	T-Max® P Rómbica 80° 75° (15°)	T-Max® P Rómbica 80° 75° (15°)	T-Max® P Rómbica 80° 75° (15°)
KAPR (PSIR)	            Cx-PCRNR/L..HP	      DCRNR/L Cx-DCRNR/L	      DCBNR/L	      PCBNR/L
Tipo de acoplamiento	Coromant Capto®	Mango Coromant Capto®	Mango	Mango
Tipo de sujeción	Sujeción por palanca	Sujeción rígida	Sujeción rígida	Sujeción por palanca
Página	A103	A147 A107	A147	A148

Los parámetros previos a la selección de la calidad del inserto se presentan en la tabla 7.

Tabla 8 Parámetros generales del inserto a seleccionar.

Parámetro	Definición
Modelo de inserto	T-Max P
Sentido de corte	Derecha-Izquierda. (Negativa)

Fuente: Autores

Geometría de la herramienta de corte

Dadas las dimensiones del porta insertos disponible se seleccionó del catálogo las dimensiones correspondientes para el inserto, en base a la norma ISO 13399 descritos en la figura 22.

Plaquitas, sistema métrico	C N M G 12 04 08 - <input type="text"/> <input type="text"/> - PF 1 2 3 4 5 6 7 8 9 12
Plaquitas, sistema imperial	C N M G 4 3 2 - <input type="text"/> <input type="text"/> - PF 1 2 3 4 5 6 7 8 9 12
Plaquitas, materiales de corte avanzados, sist. métrico	C N G A 12 04 08 - T 010 20 1 2 3 4 5 6 7 8 10 11
Plaquitas, materiales de corte avanzados, sist. Imperial	C N G A 4 3 2 - T 03 20 1 2 3 4 5 6 7 8 10 11

Fig. 22 a Dimensiones del inserto [32]

1. Forma del inserto.









1 Forma de la plaquita	
C 	D 
K 	R 
S 	T 
V 	W 

Fig. 18 b Forma del inserto [32]

En este caso corresponde la letra C para insertos rómbicos de 80°

2. Ángulo de incidencia del inserto.

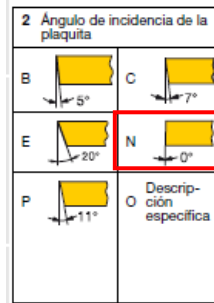


Fig. 18 c Ángulo de incidencia del inserto [32]

Por la geometría del porta insertos se escogió un ángulo de incidencia nulo.

3. Tolerancia.

3 Tolerancias, sistema métrico

Tipo	S	IC / W1
G	±0.13	±0.025
M	±0.13	±0.05 - ±0.15 ¹⁾
U	±0.13	±0.08 - ±0.25 ¹⁾
E	±0.025	±0.025

¹⁾Varia en función del tamaño del IC.
Consultar a continuación.

Círculo inscrito IC mm	Tipo de tolerancia	
	M	U
3.97		
5.0		
5.56		
6.0	±0.05	±0.08
6.35		
8.0		
9.525		
10.0		
12.0	±0.08	±0.13
12.7		
15.875		
16.0	±0.10	±0.18
19.05		
20.0		
25.0	±0.13	±0.25
25.4		
31.75	±0.15	±0.25
32.0		

Para plaquitas positivas /IC es el radio válido para un vértice agudo.
Ver condiciones del filo de corte F. (Ilustración E).

Fig. 18 d Tolerancia del inserto [32]

En función de la medida del círculo inscrito del inserto seleccionamos la tolerancia de 0.8 por lo que elegimos la letra que corresponda al rango del valor de la tolerancia del círculo inscrito.

4. Tipo de inserto.











4 Tipo de plaquita	
A 	Q 
G  (highlighted with a red box)	R 
M 	T 
N 	W 
P 	X  Diseño especial

Fig. 18 e Tipo de inserto [32]

Por rentabilidad se realizarán 4 experimentos con cada inserto, por lo que se seleccionó un inserto con 2 filos por cara, de los cuales se utilizarán dos filos por cara, cada uno con rompe virutas.

5. Longitud del inserto.






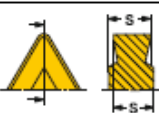
5 Tamaño de plaquita		Longitud de filo, métrico									
		IC mm	IC pulgadas	C	D	R	S	T	V	W	K
 El círculo inscrito se indica en 1/8". 1 Para la forma de plaquita K (KNMX, KNUX) solo se indica la longitud teórica de la arista de corte.		3.18	1/8"					05			
		3.97	5/32"					06			
		5.0	7/32"			05					
		5.56	7/32"			09					
		6.0			06						
		6.35	1/4"	06	07			11	11	04	
		8.0					08				
		9.525	3/8"	09	11	09	09	16	16	06	167
		10.0	10.0			10					
		12.0				12					
		12.7	1/2"	12	15	12	12	22	22	08	
		13			13				13		
		15.875	5/8"	16		15	15	27			
		18.0				16					
		19.0	3/4"	19		19	19	33			
	20.0				20						
	25.0				25 ¹⁾						
	25.4	1"	25		25 ²⁾	25					
	31.75	1 1/4"			31						
	32				32						

Fig. 18 f Longitud del inserto [32]

La longitud del inserto se establece mediante las dimensiones del porta insertos disponible de la medida del círculo inscrito seleccionado anteriormente y de la forma del inserto.

6. Espesor del inserto.

6 Espesor de plaquita, S mm, pulgadas




Métrico	Pulgadas
01 S = 1.59	1 S = .0625
T1 S = 1.98	(1.2) S = .075
02 S = 2.38	(1.5) S = 3/32
03 S = 3.18	2 S = 1/8
T3 S = 3.97	(2.5) S = 5/32
04 S = 4.76	3 S = 3/16
05 S = 5.56	4 S = 1/4
06 S = 6.35	5 S = 5/16
07 S = 7.94	6 S = 3/8
09 S = 9.52	6.3 S = .394
10 S = 10.00	7.6 S = .475
12 S = 12.00	

Fig. 18 g Espesor del inserto [32]

Es establecido por las dimensiones del porta insertos disponible.

7. Radio de la herramienta de corte.

7 Radio de punta, RE mm, pulgadas



Métrico:	Pulgada:	Dimensiones reales: pulgadas Redondas
00 = 0	00	
01 = 0.1	03	.004
02 = 0.2	0	.008
04 = 0.4	1 = 1/64	.0156
05 = 0.5		
08 = 0.8	2 = 1/32	.0312
10 = 1.0		
12 = 1.2	3 = 3/64	.047
15 = 1.5		
16 = 1.6	4 = 1/16	.0625
24 = 2.4	6 = 3/32	.094
32 = 3.2	8 = 1/8	.125

Fig. 18 h Radio de corte del inserto [32]

Dado que la operación de torneado es de acabado se seleccionó un radio de punta que garantice una buena rugosidad superficial, mientras más grande sea el radio de punta seleccionado la topografía superficial de la operación de acabado será de mejor calidad.

Los radios más grandes también garantizan una mayor profundidad de corte, mejor estabilidad y durabilidad del inserto. Las dimensiones más comunes de radio de punta son 0.4, 0.8 y 1.2 mm; en esta investigación seleccionamos el valor intermedio de 0.8 mm de los 3 mencionados para realizar la operación de acabado.

8. Tipo de operación.

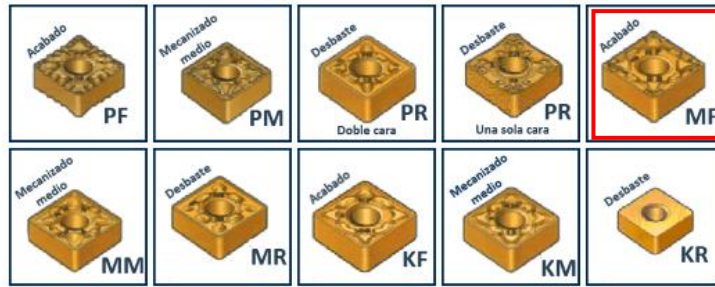


Fig. 18 i Tipo de operación [32]

Sandvik denomina mediante la letra F la operación de acabado, al tratarse de una calidad de plaqueta M por el material a mecanizar la designación completa se define como MF.

Codificación del inserto

Mediante el dimensionamiento realizado con el catálogo de Sandvik y bajo la nomenclatura establecida en la figura 23 se codifica el inserto como CNMG 120408-MF

Selección de calidad de plaqueta

		CÓDIGO ISO	P										M					K			S											
			1515	1525	4205	4235	4315	4325	5015	GC30	1115	1125	2015	2025	2035	235	GC15	3005	3205	3210	3215	GC30	H13A	1105	1115	1125	GC15	H13A	TS05F			
Acabado		09 3/8 CNMG 09 03 04-WF																														
			12 1/2 CNMG 12 04 04-WF	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
		09 3/8 CNMG 09 03 04-PF	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
			12 1/2 CNMG 12 04 04-PF	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
		12 1/2 CNMG 12 04 04-KF																*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
																		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
																		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
		09 3/8 CNMG 09 03 04-MF										*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
											*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
		12 1/2 CNMG 12 04 04-MF									*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
											*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
											*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		

Fig. 23 Codificación del inserto [32]

Se establece la calidad 2025 que se enfoca al uso general para operaciones tanto en corte continuo como intermitente, en condiciones favorables y desfavorables.

El inserto seleccionado para la operación de cilindrado y acabado tiene la designación CNMG 120408-MF 2025.

Datos de la herramienta de corte seleccionada

En la figura 24 se pueden observar las cotas que corresponden a la herramienta seleccionada, así como también, en la tabla 8 se describen los valores que corresponden a las cotas.

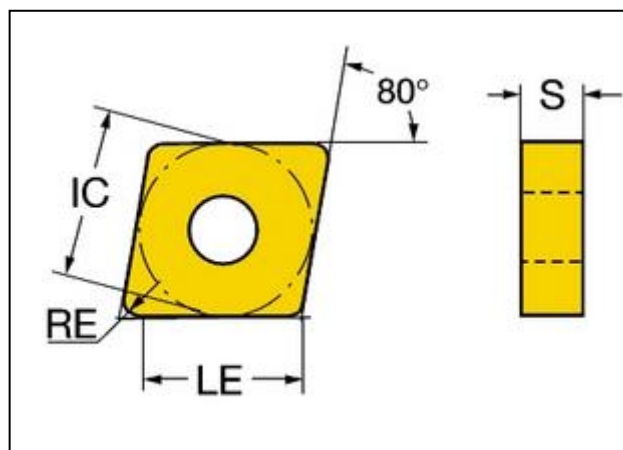


Fig. 24 Acotación de la herramienta seleccionada [32]

Tabla 9 Dimensiones de la herramienta seleccionada

Parámetro	Unidad	Valor.
Diámetro del círculo inscrito (IC).	mm	12.7
Longitud efectiva (LE).	mm	12.096
Radio de punta. (RE).	mm	0,794
Espesor (S)	mm	4.763
Recubrimiento.	N/A	CVD TICN+AL2O3+TIN

Fuente: Autores

Datos de corte especificados por el fabricante

Tabla 10 Especificaciones de operación definidas por el fabricante

Parámetro	Unidad.	Máximo	Mínimo	Recomendado.
Profundidad de corte (ap).	mm	1.5	0.15	0.6
Avance por filo (fn).	mm	0.4	0.1	0.2
Velocidad de corte (vc).	m/min	235	145	195

Fuente: Autores

2.1.3. Nano partículas de TiO₂

El dióxido de titanio se obtiene de varios tipos de minerales como la atanasa el rutilo y la brookita que es un mineral blanco insoluble, para ser considerado como nanopartícula el gránulo debe tener menos de 100 nm, es de color blanco debido a que también se utiliza como pigmento inorgánico y tiene buenas propiedades de absorción y reflejo de calor y radiación [12]. En la figura 25 se puede observar las nano partículas y sus características.

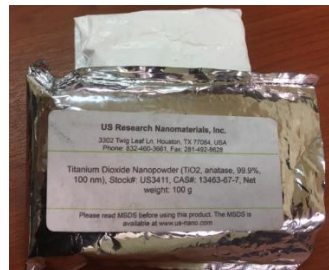


Fig. 25 Nano TiO₂

Fuente: Autores

2.1.4. Aceite lubricante

Para esta investigación se utilizó aceite UNIST COOLUBE 2210 formulado a partir de componentes de grado cosmético, que lo hace seguro tanto para el operario como para el medioambiente. El lubricante es apto para mecanizado en madera, metales y plástico, es netamente de origen natural, su toxicidad es nula y no reacciona con el oxígeno lo que hace que no se corroa ni deje residuos, en la figura 26 se puede observar la presentación en la que se distribuye el aceite. Las propiedades del lubricante en mención se muestran en la tabla 10 [33].



Fig. 26 Aceite Unist Coolube 2210

Fuente: Autores

Tabla 11 Propiedades del aceite vegetal UNIST COOLUBE 2210 [33]

Propiedad	Magnitud
Viscosidad (40°C)	16 cSt
Capacidad de Vertido (-12 a -20 °C).	10,4
Punto de inflamación	>200°C
Gravedad específica (25°C)	0,93
Solubilidad	insoluble

2.1.5. CO₂

El sistema criogénico requiere de CO₂ en fase líquida y gaseosa por lo que se usaron dos tanques uno dispuesto de manera vertical con la boquilla de salida hacia abajo, para garantizar la salida de CO₂ líquido; y otro dispuesto verticalmente con la boquilla de salida hacia arriba con CO₂ gaseoso para presurizar el sistema de distribución, evitar obstrucciones por formación de hielo seco en los conductos y garantizar que el fluido criogénico se combine con el lubricante y llegue a la zona de corte con facilidad. En la figura 27 se observa la disposición de los cilindros de CO₂ y su capacidad.



Fig. 27 Cilindros de CO₂ de 10 kg

Fuente: Autores

2.1.6. Electroválvulas

En el sistema de distribución se usaron dos válvulas solenoides para controlar el paso de CO₂ líquido y gaseoso respectivamente, estas válvulas permiten y obstruyen el paso del gas a través de las tuberías del sistema que combina el contenido de ambos tanques para garantizar una presión óptima de salida, las bobinas de las válvulas se accionan mediante una fuente DC de 24 V. En la figura 28 se presenta la válvula a utilizarse en el sistema.

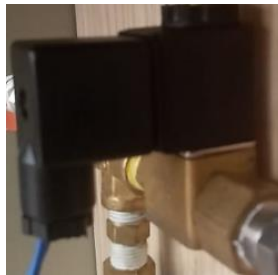


Fig. 28 Válvula solenoide
Fuente: Autores

2.1.7. Válvula antirretorno

Para evitar que el contenido del tanque gaseoso ingrese al del tanque líquido y viceversa fue necesario añadir este tipo de válvulas en puntos estratégicos del sistema, de preferencia antes de las válvulas solenoide, esto garantiza que el contenido de cada tanque fluya en un solo sentido y evita que se mezcle en el interior de cualquier tanque. En la figura 29 se presenta la válvula que se conectará al sistema.



Fig. 29 Válvula antirretorno
Fuente: Autores

2.1.8. Torno

El torno donde se adaptó el sistema de lubricación y refrigeración es un torno semiautomático DMTG CDL 6241 que se visualiza en la figura 30 que posee un rango de velocidades del husillo de 32 a 2000 rpm; allí se configuraron los parámetros de corte para efectuar el proceso de desbaste hasta obtener el tiempo de mecanizado de cada ensayo.



Fig. 30 Torno semiautomático
Fuente: Autores

2.1.9. Rugosímetro SJ – 210

Es un instrumento de medición de rugosidad superficial que es utilizado para evaluar la calidad superficial de las probetas que serán ensayadas con el torno. El instrumento que se utilizó en este trabajo experimental es el rugosímetro de la marca Mitutoyo SurfTest SJ – 210, tiene una presión de medida de 0,75 mN, con un ángulo y radio de punta de 60° y $2\mu\text{m}$ respectivamente, las velocidades de medición son de 0,25 y 0,5 mm/s; este instrumento también tiene una velocidad de retorno de 0,8 mm/s. El palpador de la medición es de punta diamante, además de utilizar el método de inducción para la medición. En la figura 31 se presenta la galga de calibración que posee un R_a de $116\mu\text{m}$, $2,94\mu\text{m}$; así como un $R_{\text{máx}}$ (R_y) de $366\mu\text{m}$ y $9,3\mu\text{m}$.



Fig. 31 Rugosímetro, palpador y galga de calibración
Fuente: Autores

2.1.10. Microscopio de barrido

Este microscopio SEM de marca TESCAN utiliza un haz de electrones que interactúa con la muestra y permite elaborar análisis no destructivos, se pueden obtener imágenes a diferentes magnificaciones y en una amplia gama de resoluciones. En la figura 32 se presenta la estación de análisis que cuenta con el microscopio, y un ordenador con software especializado para controlar el microscopio. Se utilizó una magnificación de 150x para todas las mediciones de desgaste del flanco de la herramienta de corte.



*Fig. 32 Microscopio de barrido SEM
Fuente: Autores*

2.1.11. MQL

Es un sistema de lubricación mínima que utiliza un sistema de aerosol que es aplicado en la zona externa de la herramienta de corte y la pieza a mecanizarse. El aceite vegetal es transportado vía una boquilla junto con aire comprimido, lo cual facilita el efecto deseado. El equipo que será utilizado es de la marca Dropsa, y cuenta con un presostato, manómetro, entrada de aire comprimido, filtro y un sensor eléctrico de nivel. En la figura 33 se presenta el recipiente a presión que conforma el sistema MQL junto con su electroválvula y la manguera de conducción de aceite y aire para generar el efecto de aerosol. El flujo del sistema es de 480 ml/h.



*Fig. 33 Sistema MQL
Fuente: Autores*

2.1.12. Suministro de aire comprimido

El suministro utilizado proviene de la instalación de aire generada por un compresor de 5 hp que distribuye al sistema aire a presión para el sistema MQL. Las líneas de aire son controladas manualmente mediante válvulas.

2.2.Métodos

2.2.1. Nivel o tipo de investigación

Exploratorio:

Este método permite conocer inicialmente todos los parámetros que influyen en la investigación, establece los fundamentos de donde parte todo el proceso investigativo en función de las propiedades del acero inoxidable AISI 304 así como las propiedades de los fluidos lubricantes que se utilizaron para establecer sus diferencias e influencia en la temperatura de remoción del material.

Descriptivo:

En este trabajo experimental se utiliza un método descriptivo ya que los detalles con que se desarrolló el proceso investigativo son importantes para establecer los resultados de este, por lo cual fueron registrados con imparcialidad.

Bibliográfico:

Mediante este método se obtiene información de estudios y aplicaciones similares o que tengan relación con la temática propuesta de fuentes internacionales; debido a que es un tema novedoso en nuestro medio, mediante la bibliografía se busca el fundamento teórico del estudio.

2.2.2. Metodología

2.2.2.1.Diseño de experimentos:

Para el estudio se emplea el método ortogonal Taguchi con la finalidad de enfocar el proceso de investigación en los efectos principales que pueden obtenerse de las variables; este método permite un diseño de experimentos balanceado que pueda ponderar los factores influyentes de manera equitativa además de reducir tiempo y costos asociados al experimento.

Para analizar de una manera más efectiva los efectos de los parámetros de corte y el fluido de trabajo propuesto en la rugosidad superficial del proceso de torneado del acero inoxidable AISI 304 y el desgaste de flanco de los insertos de carburo sinterizado, se propone un experimento diseñado por el método de Taguchi, el cual permite escoger los parámetros más consistentes para obtener los mejores resultados en el entorno de trabajo.

Para determinar la velocidad de rotación del husillo (rpm) y el avance de la torreta (mm/min) se toman los parámetros recomendados por el fabricante para el inserto seleccionado que se describen en la tabla 9. Para el diseño experimental se toman en cuenta tres factores con dos niveles cada uno los cuales se detallan en la tabla 11 tomando en cuenta los parámetros recomendados y máximos establecidos por el fabricante.

Tabla 12 Factores y niveles para el diseño experimental

Factores de Control			
Nombre	Unidad	Niveles	
Velocidad de corte	m/min	195	235
Avance por filo	mm/rev	0,1	0,2
Fluido de trabajo	N/A	En seco	Cryo-MQL+Nano TiO2

Fuente: Autores

Diseño Factorial

El diseño factorial involucra el número de factores controlables y el número de niveles para estimar todas las posibles combinaciones. El número de experimentos o arreglos se estima mediante la siguiente fórmula.

$$A = F^n$$

Donde.

A: Arreglo (número de corridas)

F: Número de factores.

n: Número de niveles de cada factor.

Datos:

Número de factores de control (F): 3

Niveles de cada factor (n): 2

$$L = n^F$$

$$L = 3^2$$

$$L = 8$$

Resultado: Diseño factorial L8.

Se obtiene un diseño con 8 experimentos sin considerar ningún factor de ruido, ya que los objetivos del presente trabajo se enfocan en analizar únicamente el efecto del sistema de mínima cantidad de lubricante combinado con nanopartículas de dióxido de titanio y CO₂, las combinaciones obtenidas se describen en la tabla 12.

Tabla 13 Corridas del diseño experimental

Experimento	Vc (m/min)	Avance (mm/rev)	Fluido de corte
1	195	0,1	En seco
2	195	0,1	Cryo MQL
3	195	0,2	En seco
4	195	0,2	Cryo MQL
5	235	0,1	En seco
6	235	0,1	Cryo MQL
7	235	0,2	En seco
8	235	0,2	Cryo MQL

Fuente: Autores

Para una buena confiabilidad se realizan tres repeticiones de cada corrida para evaluar rugosidad y desgaste de la herramienta de corte.

2.2.2.2. Normativa para la evaluación de parámetros de los ensayos

Norma ISO 3685

Evaluación de la vida útil de la herramienta:

La vida útil de la herramienta de corte es evaluada bajo los procedimientos recomendados por la norma ISO 3685 que es utilizada para estudios de laboratorio y producción para herramientas de acero de alta velocidad, carburo cementado y herramientas de torneado de filo único de cerámica utilizadas para el torneado de piezas de acero y hierro fundido.

Máquina herramienta:

La norma ISO 3685 recomienda que el torno en el que se realizarán las pruebas debe tener un diseño estable y estar en buenas condiciones de modo que no se observe tendencia a la vibración y será capaz de mantener una velocidad de corte uniforme en todo el proceso de corte [30].

Material de trabajo:

En el estudio que se propone, se utilizan plaquitas de carburo sinterizado para el torneado de acero inoxidable AISI 304, la norma ISO 3685 permite que tanto el material como el tipo de herramienta utilizada sean elegidas en función de los intereses del proyecto por lo que solicita que se especifiquen las propiedades de los materiales y las características de las herramientas [30]. Debido a que es un material normalizado se utilizan las propiedades determinadas en el catálogo del fabricante. Se utilizará un eje de 1.5 pulgadas para todos los ensayos, por lo que de ser necesario aplica el uso de un contrapunto.

Herramienta de corte:

Se utilizan plaquitas de las mismas características de estudios anteriores con la finalidad de comparar los resultados obtenidos. La plaquita seleccionada es de la serie: CNMG 120408 MF 2025 del catálogo de Sandvik [20], con las características descritas en la figura 24 y la tabla 8.

Determinación de parámetros de corte:

Los parámetros como velocidad y profundidad de corte se tomaron de las recomendaciones del fabricante de los insertos seleccionados. Y las velocidades de husillo y avance se calculan mediante la ecuación 1 y 2. A continuación, se describen los resultados obtenidos.

Velocidad de husillo

Se calcula el valor de velocidad de husillo con la que va a trabajar el torno utilizando la ecuación 1 con una velocidad V_c de 195 m/min para el primer caso de estudio.

$$n = \frac{1000 * V_c}{\pi * D}$$

$$n1 = \frac{1000 * (195 \frac{m}{min})}{\pi * (38,1 mm)}$$

$$n1 = 1629,145 rpm$$

Para el segundo caso, se utiliza una velocidad V_c de 235 m/min

$$n2 = \frac{1000 * (235 \frac{m}{min})}{\pi * (38,1 mm)}$$

$$n2 = 1963,328 rpm.$$

Por otro lado, la velocidad de avance de la torreta se obtiene con la ecuación 2.

$$V_a = f * n$$

$$Vf1 = 0,1 * (1629,145 rpm)$$

$$Vf1 = 162,915 mm/min$$

$$Vf2 = 0,2 * (1963,328 rpm.)$$

$$Vf2 = 392,666 mm/min$$

Profundidad de corte

La profundidad de corte para el trabajo se encuentra en el rango recomendado por el fabricante.

$$ap = 0,4 \text{ mm}$$

Fluido de corte:

Al tratarse de un trabajo experimental se tomaron dos condiciones de corte, en seco y usando un sistema de lubricación híbrida que involucra el uso de dióxido de carbono y un sistema de mínima cantidad de lubricante (MQL) combinado con nanopartículas de dióxido de titanio descritos en los apartados anteriores [30].

Procedimiento para evaluar el desgaste de la herramienta de corte:

La evaluación del desgaste de la herramienta de corte se realiza cumpliendo los requisitos que la norma ISO 3685 establece para la preparación del torno y la herramienta de corte como también para el registro de resultados y análisis.

Para las herramientas de carburo sinterizado, la norma establece los siguientes parámetros para la evaluación del desgaste en el flanco de la herramienta [30]:

- El ancho máximo de la superficie de desgaste del flanco $V_B \text{ max.} = 0,6 \text{ mm}$, si la superficie de desgaste del flanco no se desgasta regularmente en la zona B.
- El ancho promedio de la superficie de desgaste del flanco $V_B \text{ max.} = 0,3 \text{ mm}$, si la superficie de desgaste del flanco se considera desgastada regularmente en la zona B.

Las zonas de desgaste en el flanco de la herramienta se encuentran descritas en la figura 20.

Norma ISO 4287

La norma define los parámetros que influyen en la medición de la textura o calidad superficial, permite también designar la dirección del material para la trazabilidad de la rugosidad superficial [25].

Cálculo de la rugosidad teórica:

$$Ra = \frac{f^2}{32r}$$

$$Ra = \frac{0,1^2}{32(0,8)}$$

$$Ra = 3,906 \times 10^{-4} mm$$

$$Ra = 0,39 \mu m$$

De la ecuación 1 se puede obtener una rugosidad teórica de $0,39 \mu m$ que sirve para seleccionar una longitud de muestreo inicial, con la cual se compararán los resultados de rugosidad teóricos con los obtenidos mediante el rugosímetro.

Longitud de muestreo:

Para determinar o evaluar la rugosidad superficial de un elemento mecanizado se sigue un procedimiento normalizado que rige la longitud de muestra de rugosidad, que es la zona indicada donde se coloca el rugosímetro. De lo cual se obtiene el espacio de ondulación conocido como el espacio existente entre picos adyacentes del perfil medio dentro de la longitud de muestras [23].

En la tabla 13 se exponen las longitudes normalizadas de muestra de rugosidad.

Tabla 14 Longitud normalizada de muestra de rugosidad [23]

Milímetros	Pulgadas	Milímetros	Pulgadas
0,08	0,003	2,5	0,1
0,25	0,010	8,0	0,3
0,80	0,030	25,0	1,0

En la tabla 14 se presentan rangos estimados de rugosidad para una longitud de muestreo determinada.

Tabla 15 Valores de rugosidad estimados para la selección de la longitud de muestreo Ra [25]

Ra μm	Longitud de muestreo de rugosidad mm
$(0,006) < Ra \leq 0,02$	0,08
$0,02 < Ra \leq 0,1$	0,25
$0,1 < Ra \leq 2$	0,8
$2 < Ra \leq 10$	2,5
$10 < Ra \leq 80$	8

De la tabla 14 se selecciona una longitud de muestreo de rugosidad de 0,8 mm.

Tabla 16 Valores de rugosidad estimados para la selección de la longitud de muestreo Rz [25]

Rz μm	Longitud de muestreo de rugosidad mm
$(0,025) < Rz \leq 0,1$	0,08
$0,1 < Rz \leq 0,5$	0,25
$0,5 < Rz \leq 10$	0,8
$10 < Rz \leq 50$	2,5
$50 < Rz \leq 200$	8

De la tabla 15 se selecciona la longitud de muestreo de 0,8 mm para la rugosidad Rz que está dentro del rango de 0,5 a 10 μm.

Condiciones ambientales:

El ambiente debe estar libre de polvo en lo máximo posible, tampoco deben existir vibraciones y exposición directa a la luz solar.

La temperatura ambiente debe ser dentro de un rango de $20^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$.

Las muestras para las mediciones deben ser limpiadas previamente para eliminar residuos de niebla o polvo, la limpieza debe hacerse con paños que no dejen pelusas.

La limpieza debe hacerse también con un soplete de aire para eliminar cualquier contaminación grave en la superficie.

En caso de que existan residuos de aceite o grasa, se debe utilizar un solvente para limpiar la superficie.

El equipo de medición de rugosidad debe ser calibrado previamente bajo los parámetros establecidos por el fabricante [25].

Procedimiento:

Para medir la rugosidad Ra y Rz de la superficie de las muestras se debe seleccionar un rango de longitud de medición de la tabla 14 y 15; para el caso del rugosímetro SJ – 210 se puede aplicar 0,08 - 0,25 – 0,8 – 2,5 mm.

Se deben obtener mediciones representativas aplicando el rugosímetro en las longitudes de muestreo seleccionadas.

Luego de establecer las mediciones, se deben comparar con los valores que se indican en los rangos de la tabla 14 y 15; en caso de no estar dentro del rango, se debe reajustar las mediciones para un nuevo rango con una nueva longitud de muestreo [25].

2.2.2.3. Operación de variables

2.2.2.3.1. *Variable independiente:* Método de lubricación híbrida CO₂ + Nano TiO₂ en el proceso de torneado

Definición de la variable	Categoría	Indicador	Ítems	Técnicas e instrumentos
El método de lubricación híbrida compuesto por CO ₂ + Nano TiO ₂ es un nuevo método de lubricación y refrigeración propuesto, debido a que se quiere combinar las propiedades refrigerantes del CO ₂ en el mecanizado de diferentes materiales lo cual permitirá reducir la temperatura de corte y minimizar los esfuerzos térmicos producidos por la temperatura de trabajo que combinada junto con el Nano TiO ₂ que es una mezcla de nano partículas suspendidas en aceite biodegradable mediante un sistema MQL que envía esta combinación en forma de aerosol permitirá obtener mejoras en el proceso de torneado.	Aceite lubricante	Sin lubricación	Seco	<ul style="list-style-type: none"> • Hojas de registro de datos • Hojas de cálculos • Ensayos
		Con lubricación	Caudal: 480 ml/h Presión: 2 bar	
	Nano partículas TiO ₂	Concentración	0,5% en peso del aceite	
	CO ₂	Estado	Líquido	
			Gaseoso	
	Máquina	Velocidad de corte	195 m/min	
			235 m/min	
		Velocidad de avance	0,1 mm/rev	
			0,2 mm/rev	
	Herramienta de corte	Radio de punta	0,8 mm	
Recubrimiento		CVD TICN+AL ₂ O ₃ +TIN		

2.2.2.3.2. *Variable dependiente: Acabado superficial del acero inoxidable AISI 304 y la vida útil de la herramienta de corte.*

Definición de la variable	Categoría	Indicador	Ítems	Técnicas e instrumentos
El acabado superficial es la calidad superficial o rugosidad que presenta un material, también se le conoce como el resultado de la geometría de la herramienta combinado con la velocidad de avance, luego del proceso de mecanizado.	Rugosidad	Ra	Longitud de muestreo lr = 0,8 mm	<ul style="list-style-type: none"> • Hojas de registro de datos • Hojas de cálculos • Ensayos
		Rz		
La vida útil de la herramienta de corte es el tiempo total de mecanizado que puede tener una herramienta de un material específico. Se determina bajo la norma ISO 3685 que toma en cuenta el desgaste del flanco de la herramienta para el caso de plaquitas de carburo sinterizado.	Desgaste en el flanco	VB	300 μm	
		VB máx	600 μm	

2.2.3. Plan de recolección de información

Para la recolección de la información se utiliza el tipo de investigación bibliográfica ya que se hicieron consultas en revistas, libros y catálogos referentes a la temática; otras fuentes como sitios web específicos de las marcas distribuidoras de las herramientas de corte que se proponen para el estudio, al igual que las especificaciones y características propias de los recursos a utilizarse como el material de corte de las probetas y los fluidos de refrigeración y lubricación.

Se busca información bibliográfica para determinar los parámetros de funcionamiento del sistema de distribución de CO₂ que servirá para implementar el sistema de lubricación híbrido aplicable para los procesos de mecanizado por arranque de viruta.

En la recolección de información es necesario elaborar fichas para reunir los datos que se generen en cada ensayo. La información de los ensayos se obtiene de los datos tomados del rugosímetro para poder determinar el acabado superficial, mientras que los datos del desgaste del flanco de la herramienta se obtienen del microscopio de barrido para determinar la vida útil de la plaquita de corte.

2.2.4. Esquema del sistema de mezcla y distribución de CO₂ en estado líquido y gaseoso.

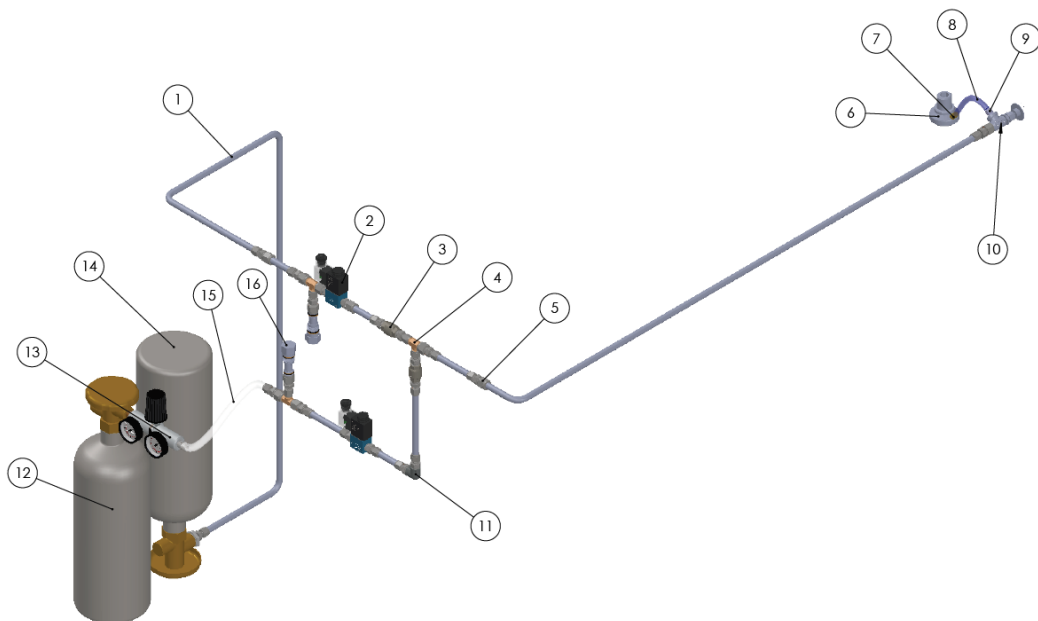


Fig. 34 Esquema del sistema de mezcla y distribución de CO₂
Fuente: Autores

En la figura 34 se presenta el esquema del sistema de mezcla y distribución de CO₂ propuesto para el sistema de lubricación híbrido, se compone de los siguientes elementos:

1. Tubing de acero inoxidable
2. Electroválvula
3. Válvula antirretorno
4. Acople en T
5. Conector unión tubing para juntas abocinadas
6. Soporte de distribución de MQL y mezcla de CO₂
7. Racor
8. Manguera de polipropileno
9. Acople rápido
10. Válvula de aguja
11. Codo de 90°
12. Tanque de CO₂ gaseoso
13. Regulador de presión
14. Tanque de CO₂ líquido
15. Manguera de silicona
16. Válvula de alivio

2.2.4.1. Descripción del funcionamiento del sistema criogénico

Accesorios de conexión.

Para el sistema de mezclado de CO₂ líquido con CO₂ gaseoso se requiere tubería de acero inoxidable y accesorios UNILOCK® como neoplos, codos y tees para evitar el uso de conexiones soldadas y facilitar el mantenimiento y reemplazo de tubería en caso de presentarse alguna falla, los accesorios UNILOCK® están diseñados y fabricados para proporcionar una conexión confiable y a prueba de fugas en sistemas de instrumentación y proceso en los que use tubería.

Los accesorios consisten en tres componentes mecanizados a precisión.

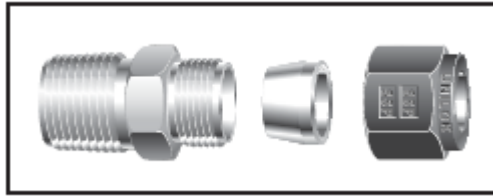


Fig. 35 Componentes de los accesorios de conexión UNILOCK [34]

En la figura se aprecia de izquierda a derecha los tres componentes principales, cuerpo, férula y tuerca.

Funcionamiento

El diseño de férula única, con la acción de resorte durante el ensamble, compensa las variaciones en los materiales del tubo como la dureza y el grosor de pared para proporcionar conexiones a prueba de fugas, la rotación geométrica simple de la tuerca proporciona el empuje axial necesario para acuñar la férula al diámetro exterior del tubo. Para eliminar cualquier tensión potencial en un sistema existente, los accesorios del tubo han sido diseñados para no transmitir el par de instalación desde los accesorios del tubo a la tubería.

Durante el movimiento giratorio de la tuerca, la superficie interna de la tuerca se encuentra con la superficie posterior de la férula para mover axialmente la férula hacia adelante en la sección angular del cuerpo del accesorio. El borde de ataque de la férula se dirige hacia el tubo para comenzar la acción de "inclinación" requerida de la férula.

Posteriormente, el borde delantero de la férula se bloquea en el diámetro exterior del tubo para completar la acción de sellado y asegurar el tubo dentro del accesorio.

La acción de resorte resultante de la férula está diseñada para ayudar a compensar la exposición a variables del sistema como la vibración, la pulsación de presión y la expansión / contracción térmica.

Válvulas antirretorno

Tanto en el conducto de CO₂ líquido como el gaseoso se empleó una válvula antirretorno por cada uno antes del punto de mezclado con la finalidad de evitar que ambos fluidos ingresen a los recipientes contrarios, y garantizar que se direccionen hacia la salida del sistema criogénico.



Fig. 36 Sección de una válvula antirretorno [35]

Válvulas solenoide

Estos accesorios permiten controlar el presurizado y la dosificación del fluido criogénico en el sistema, se usó una válvula solenoide por cada fluido, en el sistema de distribución de CO₂ líquido como en el gaseoso. Mediante un tablero de control se pueden accionar o apagar las válvulas, según las etapas de funcionamiento del sistema.

Tubing

Los conductos de fluido gaseoso, líquido y criogénico se componen de tubería de acero inoxidable rígido cuyas dimensiones se detallan en la etapa de diseño.

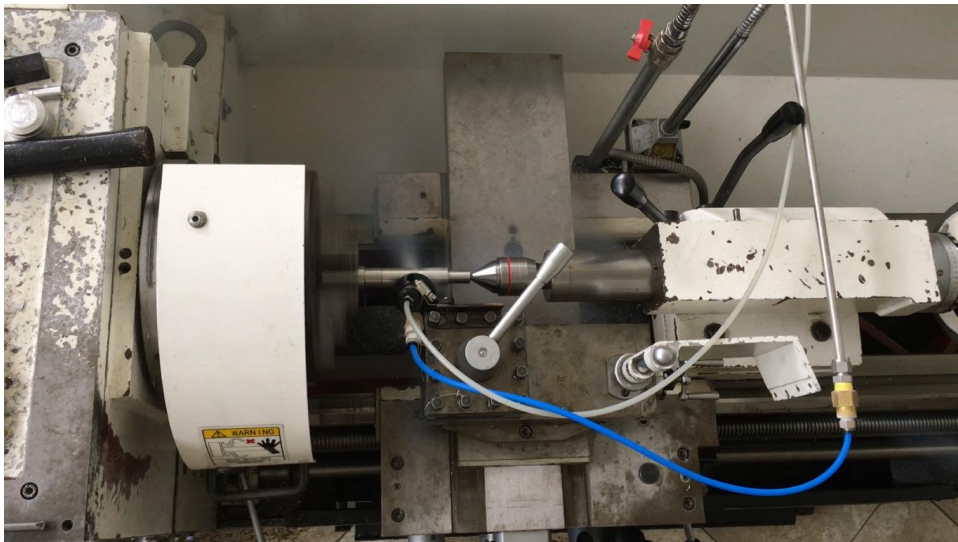


*Fig. 37 Tubing de acero inoxidable
Fuente: Autores*

Funcionamiento

El fluido criogénico se obtiene presurizando el sistema de distribución con CO₂ gaseoso y liberando CO₂ líquido al máximo caudal disponible, lo que hace que a la salida del racor se forme una nube direccionada hacia la zona de contacto herramienta-eje tal como se aprecia en la figura 38, para lograr este efecto es necesario seguir los siguientes pasos.

1. Conectar el sistema de control al suministro de energía eléctrica.
2. Abrir la válvula principal del CO₂ gaseoso y regular el caudal mediante el indicador situado a la salida del recipiente.
3. Abrir la válvula principal del recipiente de CO₂ líquido.
4. Direccional la salida del racor de fluido criogénico y la salida del MQL hacia la zona de contacto herramienta-eje.
5. Presurizar el sistema accionado la electroválvula 1 en el tablero de control.
6. Accionar la electroválvula situada en la parte superior del sistema MQL.
7. Accionar la electroválvula 2 desde el tablero de control (se evidencia la formación de la nube criogénica a la salida de la boquilla distribuidora).
8. Encender el husillo del torno, mientras la herramienta de corte se enfría con la finalidad de evitar grietas o fracturas debido a la fragilización por congelamiento.
9. Accionar el movimiento de avance y efectuar la operación de cilindrado.



*Fig. 38 Sistema de lubricación híbrida compuesta de fluido criogénico y MQL
Fuente: Autores*

2.2.4.2. Diseño y selección de los elementos del sistema de distribución

El CO₂ en sus condiciones iniciales se encuentra a una presión de 60 bares, a la salida del sistema el CO₂ se expande a 1 bar [7]; otra condición importante del sistema es la velocidad de salida del CO₂ de 400 m/s [7]. En la figura 15 se muestra el comportamiento del CO₂ en función de la presión y temperatura.

El sistema que se muestra en el esquema de la figura 39 es un sistema de tuberías en paralelo, en donde se encontrará el caudal que cumpla con las condiciones propuestas, para lo cual se requiere determinar las pérdidas menores del sistema y finalmente determinar la fricción de las tuberías, la velocidad y el caudal que atraviesa cada tramo de las tuberías del sistema.

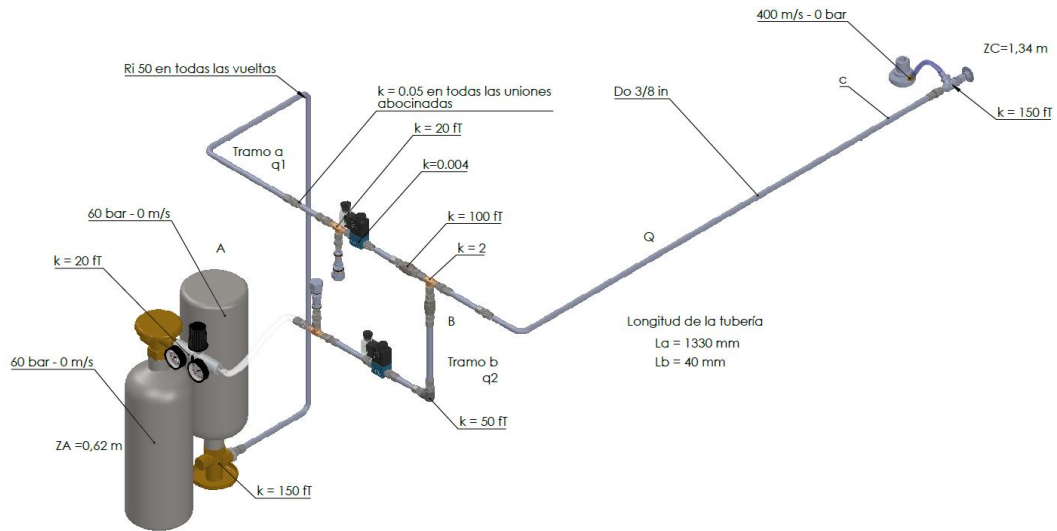


Fig. 39 Condiciones del sistema
Fuente: Autores

Pérdidas de fricción

$$h_f = f \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{V^2}{2g} \right) \quad (4)$$

Donde:

h_f es el valor de las pérdidas por fricción (m)

f coeficiente o factor de fricción de la tubería

L longitud de la tubería (m)

D diámetro de la tubería (m)

V velocidad del fluido (m/s)

Pérdidas por accesorios

$$h_{ac} = k \left(\frac{V^2}{2g} \right) \quad (5)$$

Donde:

h_{ac} es el valor de las pérdidas menores por accesorios (m)

k coeficiente de resistencia del accesorio, varía en función del accesorio

$$k = f_T \left(\frac{L_e}{D} \right) \quad (6)$$

Donde:

f_T factor de fricción en la zona de turbulencia

$\frac{L_e}{D}$ relación de longitud equivalente – diámetro que viene dada por el fabricante

En la figura 40 se muestra el valor del coeficiente k correspondiente para cada accesorio del que se compone el sistema.

Vueltas a 90° de la tubería

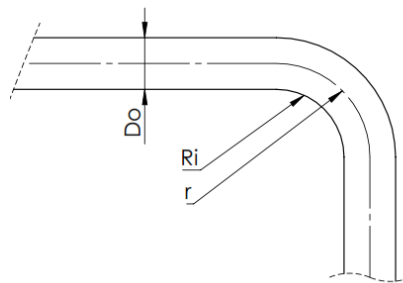


Fig. 40 Curva a 90° de una tubería
Fuente: Autores

En la figura 36 se presenta la configuración geométrica para obtener el valor de r para el cálculo del coeficiente de resistencia en las vueltas en la tubería.

$$r = R_i + \frac{D_o}{2} \quad (7)$$

Donde:

r radio de curvatura de la tubería (m)

R_i radio interior de la vuelta de la curva (m)

D_o diámetro exterior de la tubería (m)

Cálculo del sistema:

En el sistema se usa una tubería tipo tubing Swagelok de acero inoxidable AISI 316 de diámetro exterior de 9,5 mm y un espesor de pared de 1 mm para la primera iteración del caudal del sistema que se requiere.

$$r = R_i + \frac{D_o}{2}$$

$$r = 50 + \frac{9,5}{2}$$

$$r = 54,75 \text{ mm}$$

$$\frac{r}{D_o} = \frac{54,75}{9,5} = 5,76$$

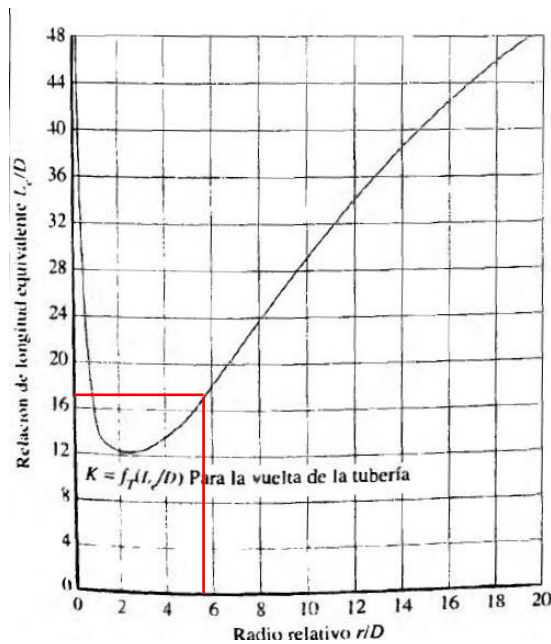


Fig. 41 Resistencia debida a las vueltas de 90° en vueltas de tubería [36]

De la figura 41 se obtiene que el valor de k es 17 fT; conocidos todos los valores de las pérdidas menores, se aplica la ecuación de las pérdidas para los dos tramos de la tubería que se muestran en la figura 39.

Tramo a

$$h_a = f_a \left(\frac{L_a}{D_a} \right) \left(\frac{V_a^2}{2g} \right) + 150 f_T \left(\frac{V_a^2}{2g} \right) + 3(17 f_T) \left(\frac{V_a^2}{2g} \right) + 7(0,005) \left(\frac{V_a^2}{2g} \right) + 20 f_T \left(\frac{V_a^2}{2g} \right) + 0,004 \left(\frac{V_a^2}{2g} \right) + 100 f_T \left(\frac{V_a^2}{2g} \right) \quad (8)$$

Tramo b

$$h_b = f_b \left(\frac{L_b}{D_b} \right) \left(\frac{V_b^2}{2g} \right) + 150 f_T \left(\frac{V_b^2}{2g} \right) + 2(20 f_T) \left(\frac{V_b^2}{2g} \right) + 8(0,005) \left(\frac{V_b^2}{2g} \right) + 0,004 \left(\frac{V_b^2}{2g} \right) + 50 f_T \left(\frac{V_b^2}{2g} \right) + 100 f_T \left(\frac{V_b^2}{2g} \right) \quad (9)$$

Relación diámetro – rugosidad

$$\frac{D}{\epsilon} \quad (10)$$

Donde

D diámetro interno de la tubería (m)

ϵ rugosidad absoluta del material de las tuberías (m)

Material	Rugosidad ϵ (m)	Rugosidad ϵ (pie)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	3.0×10^{-7}	1.0×10^{-6}
Tubo extruido; cobre, latón y acero	1.5×10^{-6}	5.0×10^{-6}
Acero, comercial o soldado	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
Hierro galvanizado	1.5×10^{-4}	5.0×10^{-4}
Hierro dúctil, recubierto	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Hierro dúctil, no recubierto	2.4×10^{-4}	8.0×10^{-4}
Concreto, bien fabricado	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Acero remachado	1.8×10^{-3}	6.0×10^{-3}

Fig. 42 Valores de diseño de la rugosidad de tuberías [36]

$$\frac{D}{\epsilon} = \frac{0,0075}{1,5 \times 10^{-6}} = 5000$$

Debido a que todo el sistema se rige por un solo tipo de tubería, el factor obtenido de $\frac{D}{\epsilon}$ aplica para los dos tramos de tubería.

Factor de fricción en la zona de turbulencia:

$$f_T = \frac{0,25}{\left[\lg \left(\frac{1}{3,7 \left(\frac{D}{\epsilon} \right)} \right) \right]^2} \quad (11)$$

$$f_T = \frac{0,25}{\left[\lg \left(\frac{1}{3,7(5000)} \right) \right]^2}$$

$$f_T = 0,014$$

El diámetro a la salida del sistema es el diámetro del racor que es de 1,5 mm [7] que, bajo las condiciones descritas anteriormente, proporciona un caudal de $7,07 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$.

En los sistemas de tuberías en paralelo se aplican las siguientes condiciones:

$$Q = q_1 + q_2 \quad (12)$$

Donde:

Q es el caudal total (m^3/s)

q_1 es el caudal que atraviesa por el tramo a de la tubería del sistema, que se define por el producto del área por la velocidad del flujo en esa sección de la tubería.

q_2 es el caudal que atraviesa por el tramo b de la tubería del sistema, que se define por el producto del área por la velocidad del flujo en esa sección de la tubería.

El área de la tubería que compone el sistema es del diámetro interno de 0,0075 m que da como resultado $4,42 \times 10^{-5} \text{ m}^2$.

$$Q = q_1 + q_2$$

$$Q = A_a V_a + A_b V_b$$

$$7,07 \times 10^{-4} = 4,42 \times 10^{-5} V_a + 4,42 \times 10^{-5} V_b$$

$$V_a = 15,995 - V_b \quad (13)$$

Reemplazando los valores de la ecuación 8 se obtiene:

$$h_a = 9,038 f_a V_a^2 + 0,23 V_a^2 \quad (14)$$

Mientras que de la ecuación 9 se puede determinar que:

$$h_b = 2,72 f_b V_b^2 + 0,19 V_b^2 \quad (15)$$

Otra condición que rige en los sistemas de tuberías en paralelo es:

$$h_a = h_b \quad (16)$$

Aplicando esto, se iguala la ecuación 14 y 15 de donde se obtiene lo siguiente:

$$V_b = \left(\frac{9,038f_a + 0,23}{2,72f_b + 0,19} \right)^{0,5} V_a \quad (17)$$

Se asume un valor de $f_a = 0,02$ y $f_b = 0,02$; con lo que se puede encontrar que:

$$V_b = 1,31V_a \quad (18)$$

La ecuación 18 se reemplaza en la ecuación 13 y se obtiene

$$V_a = 6,93 \text{ m/s}$$

$$V_b = 9,08 \text{ m/s}$$

Con los valores obtenidos de V_a y V_b se puede calcular el número de Reynolds

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (19)$$

Donde:

Re es el número de Reynolds; $Re > 4000$ representa flujo laminar; $Re < 2000$ representa flujo turbulento

V es la velocidad en el tramo a o en el tramo b (m/s)

D es el diámetro interno de la tubería (m)

ν es la viscosidad cinemática del CO_2 (m^2/s)

Comportamiento del CO_2 :

Temperatura °C	Presión		Líquido			Vapor saturado seco			
	Atmósferas	Bars	ν' dm ² /Kg	i' Kcal/Kg	s' Kcal/Kg°C	ν'' dm ² /Kg	r Kcal/Kg	i'' Kcal/Kg	s'' Kcal/Kg°C
-50	6,97	6,83	0,867	75,00	0,9020	55,407	80,56	155,57	1,2631
-45	8,49	8,32	0,881	77,30	0,9120	45,809	78,59	155,89	1,2563
-40	10,25	10,05	0,897	79,59	0,9218	38,164	76,58	156,17	1,2503
-35	12,26	12,02	0,913	81,80	0,9314	32,008	74,51	156,39	1,2443
-30	14,55	14,27	0,931	84,19	0,9408	27,001	72,37	156,56	1,2385
-25	17,14	16,81	0,950	86,53	0,9501	22,885	70,14	156,67	1,2328
-20	20,06	19,67	0,971	88,93	0,9594	19,466	67,79	156,78	1,2272
-15	23,34	22,79	0,994	91,44	0,9690	16,609	65,26	156,70	1,2218
-10	26,99	26,47	1,019	94,09	0,9787	14,194	62,51	156,60	1,2163
-5	30,51	30,45	1,048	96,91	0,9890	12,141	59,5	156,41	1,2109
0	35,54	34,85	1,081	100,00	1,0000	10,383	56,13	156,13	1,2055
5	40,50	39,71	1,120	103,10	1,0103	8,850	52,35	155,45	1,1985
10	45,95	45,06	1,166	106,50	1,0218	7,519	48,09	154,59	1,1917
15	51,93	50,92	1,223	110,10	1,0340	6,323	43,07	153,17	1,1836
20	58,46	57,33	1,297	114,00	1,0468	5,269	37,1	151,10	1,1734
25	65,59	64,32	1,409	118,80	1,0628	4,232	28,53	147,33	1,1585
30	73,34	71,92	1,680	125,90	1,0854	2,979	15,05	140,95	1,1351
35	74,96	73,51	2,156	133,50	1,1098	2,156	0	133,50	1,1098

Fig. 43 Comportamiento termodinámico del CO_2 [37]

De la figura 43 se interpola el valor de la temperatura a la presión de los tanques del sistema, que da como resultado de 22 °C

Temp. T, °C	Densidad ρ , kg/m ³	Calor específico C _p , J/kg·K	Conductividad térmica k, W/m·K	Difusividad térmica α , m ² /s	Viscosidad dinámica μ , kg/m·s	Viscosidad cinemática ν , m ² /s	Número de Prandtl Pr
<i>Dióxido de carbono, CO₂</i>							
-50	2,4035	746	0,01051	$5,860 \times 10^{-5}$	$1,129 \times 10^{-5}$	$4,699 \times 10^{-6}$	0,8019
0	1,9635	811	0,01456	$9,141 \times 10^{-5}$	$1,375 \times 10^{-5}$	$7,003 \times 10^{-6}$	0,7661
50	1,6597	866,6	0,01858	$1,291 \times 10^{-4}$	$1,612 \times 10^{-5}$	$9,714 \times 10^{-6}$	0,7520
100	1,4373	914,8	0,02257	$1,716 \times 10^{-4}$	$1,841 \times 10^{-5}$	$1,281 \times 10^{-5}$	0,7464
150	1,2675	957,4	0,02652	$2,186 \times 10^{-4}$	$2,063 \times 10^{-5}$	$1,627 \times 10^{-5}$	0,7445
200	1,1336	995,2	0,03044	$2,698 \times 10^{-4}$	$2,276 \times 10^{-5}$	$2,008 \times 10^{-5}$	0,7442
300	0,9358	1060	0,03814	$3,847 \times 10^{-4}$	$2,682 \times 10^{-5}$	$2,866 \times 10^{-5}$	0,7450
400	0,7968	1112	0,04565	$5,151 \times 10^{-4}$	$3,061 \times 10^{-5}$	$3,842 \times 10^{-5}$	0,7458
500	0,6937	1156	0,05293	$6,600 \times 10^{-4}$	$3,416 \times 10^{-5}$	$4,924 \times 10^{-5}$	0,7460
1000	0,4213	1292	0,08491	$1,560 \times 10^{-3}$	$4,898 \times 10^{-5}$	$1,162 \times 10^{-4}$	0,7455
1500	0,3025	1356	0,10688	$2,606 \times 10^{-3}$	$6,106 \times 10^{-5}$	$2,019 \times 10^{-4}$	0,7745
2000	0,2359	1387	0,11522	$3,521 \times 10^{-3}$	$7,322 \times 10^{-5}$	$3,103 \times 10^{-4}$	0,8815

Fig. 44 Propiedades del CO₂ en función de la temperatura [37]

Se encuentra el valor de la viscosidad cinemática mediante la interpolación de los valores que se presentan en la figura 44, de la cual se obtiene $\nu = 8,196 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$.

Luego de reemplazar los valores en la ecuación 19 se obtiene lo siguiente:

Número de Reynolds para el tramo a de la tubería:

$$Re = \frac{0,0075}{8,196 \times 10^{-6}} V_a$$

$$Re = 915,08 V_a \quad (20)$$

$$Re = 915,08 \times 6,93$$

$$Re = 6341$$

Número de Reynolds para el tramo b de la tubería:

$$Re = 915,08 V_b \quad (21)$$

$$Re = 915,08 \times 9,08$$

$$Re = 6342$$

Para obtener el valor de f_a y f_b se aplica la ecuación de Swamme

$$f = \frac{0,25}{\left(\lg \left(\frac{1}{3,7 \left(\frac{D}{\epsilon} \right)} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right)^2} \quad (22)$$

Donde:

f es el coeficiente de fricción

Reemplazando todos los valores conocidos, se obtiene:

$$f_a = 0,03553$$

$$f_b = 0,03553$$

Para la segunda iteración del sistema, se reemplazan los valores obtenidos de f en la ecuación 17, para obtener la ecuación 18 y reemplazar esta relación en la ecuación 13, obtenidas las dos velocidades se reemplazan en la ecuación 20 y 21; con el resultado de los números de Reynolds para el tramo a y b se reemplaza en la ecuación 22; de lo que se obtiene el valor de f_a y f_b ; hasta que las iteraciones de f_a y f_b sean iguales.

En la tabla 16 se muestra los valores obtenidos de las ecuaciones; de lo que se obtiene que en la iteración 6 las columnas 9 y 10 son iguales que en la iteración 7; por lo tanto, el valor de las velocidades resultantes es $V_a = 6,6337$ m/s y $V_b = 9,3613$ m/s.

Tabla 17 Resultados de las iteraciones para la búsqueda de V_a y V_b

Nº	f_a	f_b	Vb (Va) Ec. 17	Va Ec. 13	Vb Ec. 18	Re a Ec. 20	Re b Ec. 21	f_a Ec. 22	f_b Ec. 22
1	0,03553	0,03553	1,38661	6,7020	9,2930	6132,85	8503,85	0,03590	0,03274
2	0,03590	0,03274	1,40952	6,6383	9,3567	6074,54	8562,16	0,03600	0,03268
3	0,03600	0,03268	1,41108	6,6340	9,3610	6070,61	8566,09	0,03600	0,03268
4	0,03600	0,03268	1,41118	6,6337	9,3613	6070,34	8566,36	0,03600	0,03268
5	0,03600	0,03268	1,41119	6,6337	9,3613	6070,33	8566,38	0,03600	0,03268
6	0,03600	0,03268	1,41119	6,6337	9,3613	6070,32	8566,38	0,03600	0,03268
7	0,03600	0,03268	1,41119	6,6337	9,3613	6070,32	8566,38	0,03600	0,03268
8	0,03600	0,03268	1,41119	6,6337	9,3613	6070,32	8566,38	0,03600	0,03268
9	0,03600	0,03268	1,41119	6,6337	9,3613	6070,32	8566,38	0,03600	0,03268

Fuente: Autores

Con estos valores obtenidos de la tabla 16 se puede obtener el caudal que circula por cada tramo de la tubería.

$$q_1 = A_a V_a$$

$$q_1 = 4,42 \times 10^{-5} \times 6,6337$$

$$q_1 = 2,93 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$q_2 = A_b V_b$$

$$q_2 = 4,42 \times 10^{-5} \times 9,3613$$

$$q_2 = 4,14 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

Para conocer la caída de presión entre el punto A y el punto C; se puede aplicar la ecuación de la energía en esos dos puntos:

$$\frac{P_A}{\gamma} + Z_A + \frac{V_A^2}{2g} - h_{A-C} = \frac{P_C}{\gamma} + Z_C + \frac{V_C^2}{2g} \quad (23)$$

Donde:

P_A presión en el punto A (bar)

γ peso específico del CO₂ 11,55 (kN/m³) en líquido saturado [38]

Z_A altura en el punto A (m)

g gravedad (m/s²)

$V_A = V_B = V_C$ velocidad (m/s)

P_C presión en el punto C (bar)

Z_C altura en el punto C (m)

$h_{A-C} = h_a = h_b$

De la ecuación 14 se obtiene el valor de h_a

$$h_a = 9,038 f_a V_a^2 + 0,23 V_a^2$$

$$h_a = 9,038 \times 0,036 \times (6,6337)^2 + 0,23 \times (6,6337)^2$$

$$h_a = 24,44 \text{ m}$$

Reemplazando los valores del sistema en los dos puntos en la ecuación 23 se obtiene lo siguiente:

$$\frac{P_A}{\gamma} + 0,62 - 24,44 = \frac{P_C}{\gamma} + 1,34$$

$$P_A - P_C = (1,34 + 24,44 - 0,62)(11,55 \times 10^3)$$

$$P_A - P_C = 290,6 \text{ kPa}$$

$$P_A - P_C = 2,91 \text{ bar}$$

La caída de presión en la sección de la tubería en el tramo C es de 2,91 bares.

2.2.4.3. Selección de la tubería normalizada

Ø ext. del tubo mm	Pared del tubo mm	Referencia	Peso kg/m	Presión de servicio bar
3	0,5 [ⓓ]	SS-T3M-S-0,5M-6ME	0,021	330
	0,7 [ⓓ]	SS-T3M-S-0,7M-6ME	0,027	560
6	1,0	SS-T6M-S-1,0M-6ME	0,125	420
	1,5	SS-T6M-S-1,5M-6ME	0,169	710
8	1,0	SS-T8M-S-1,0M-6ME	0,175	310
	1,5	SS-T8M-S-1,5M-6ME	0,244	520
10	1,0	SS-T10M-S-1,0M-6ME	0,225	240
	1,5	SS-T10M-S-1,5M-6ME	0,319	400
12	1,0	SS-T12M-S-1,0M-6ME	0,275	200
	1,5	SS-T12M-S-1,5M-6ME	0,394	330
	2,0	SS-T12M-S-2,0M-6ME	0,500	470

Fig. 45 Diámetros de tuberías disponibles en tubing [39]

En la figura 45 se muestra el diámetro seleccionado que tiene un área de $5,03 \times 10^{-5} \text{ m}^2$. El diámetro seleccionado abastece los caudales requeridos para el sistema de mezcla y distribución de CO₂.

2.2.4.4. Selección de las electroválvulas

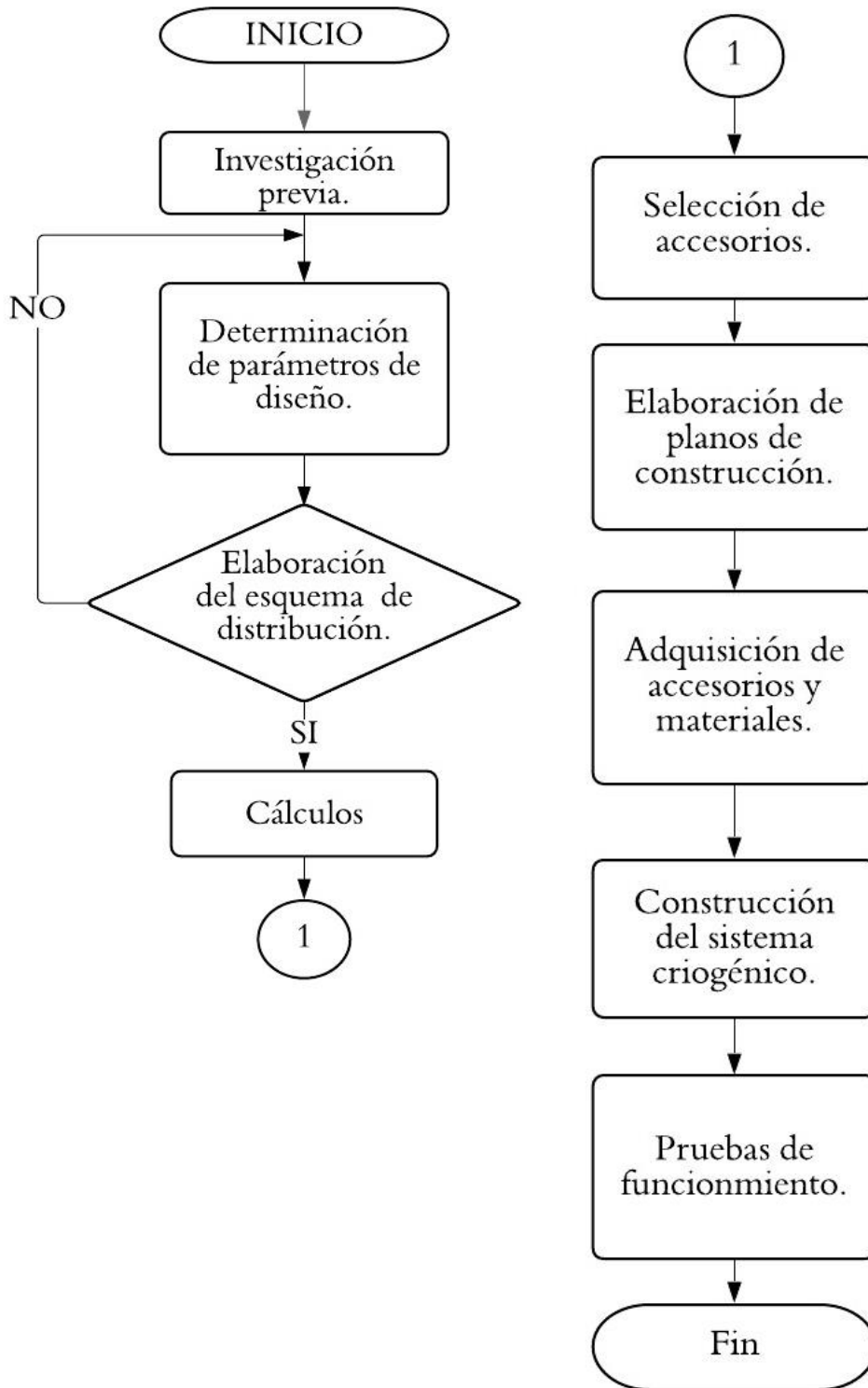
Para el tramo a del sistema se necesita una electroválvula que permita el flujo de $17,57 \frac{L}{min}$, y para el tramo b una electroválvula que permita un flujo de $24,84 \frac{L}{min}$.

Del anexo 3 se seleccionan dos electroválvulas con especificación: VZWD-L-M22C-M-G14-15-V-1P4-85.

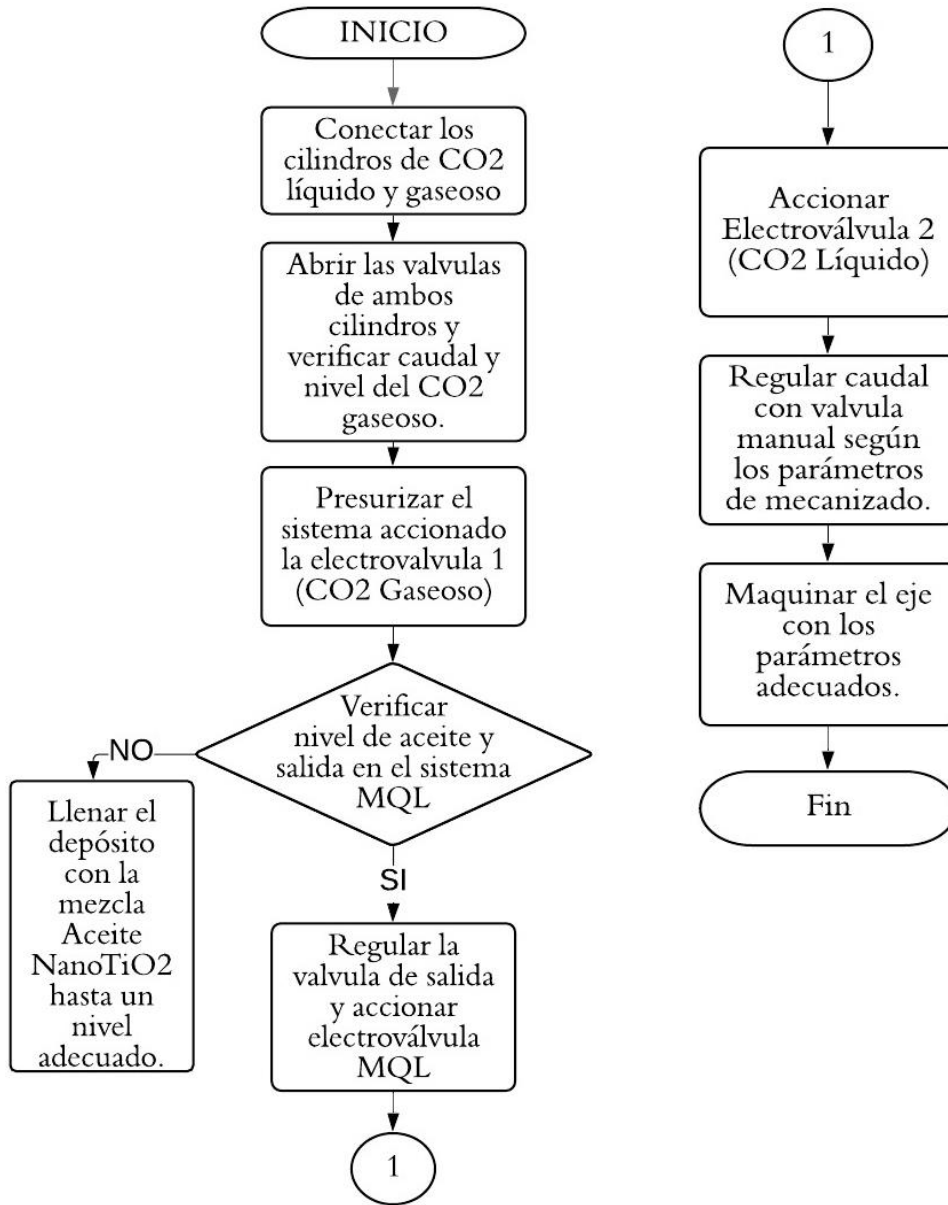
2.2.4.5. Selección de las válvulas antirretorno

Para los tramos a y b del sistema de distribución de CO₂ se requieren válvulas antirretorno para que tanto el CO₂ en fase líquida y gaseosa no regresen a los tanques de almacenamiento. Por lo tanto, se selecciona la electroválvula según se indica en el anexo 4 que corresponde a la especificación: H-1/4

2.2.5. Diagrama de flujo de construcción del sistema criogénico



2.2.6. Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema criogénico



2.2.7. Procedimiento para la elaboración de ensayos de evaluación de la calidad superficial del acero AISI 304 y vida útil de la herramienta de corte.

En la figura 42 se muestra todo el procedimiento llevado a cabo para la ejecución de los ensayos; se compone de la preparación de las probetas, preparación del nano fluido, preparación del dispositivo MQL y el accionamiento del sistema de distribución de mezcla criogénica, ejecución del mecanizado y evaluación de rugosidad y desgaste de la herramienta de corte.

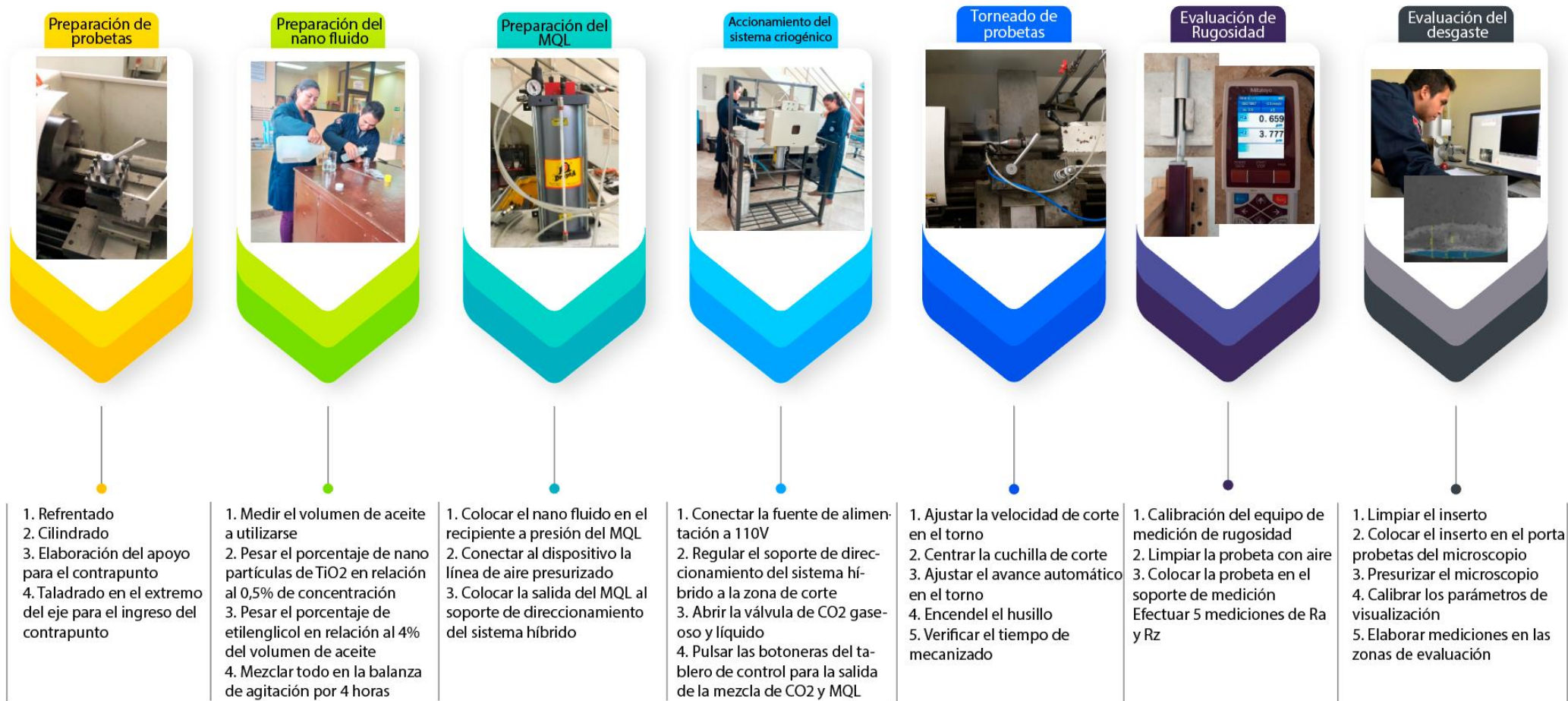


Fig. 46 Procedimiento para la elaboración de ensayos de calidad superficial y vida útil de la herramienta de corte mediante el proceso de torneado y lubricación Cryo MQL

Fuente: Autores

2.2.8. Plan de procesamiento y análisis

Luego de efectuar las mediciones de rugosidad, se registran todas las mediciones en fichas para poder organizar la información y facilitar su interpretación; para ello se tomarán 5 mediciones de cada probeta a los primeros 5 minutos de mecanizado; los datos principales para estas mediciones son los valores de Ra y Rz; ambos se encuentran en μm . En el caso del desgaste de la herramienta de corte, se tomarán mediciones por cada 5 minutos de mecanizado hasta alcanzar el valor de referencia que establece la norma ISO 3685 en donde se establece que la herramienta ha perdido sus características de corte más esenciales cuando el desgaste uniforme llega a $300 \mu\text{m}$; además de fotografías tomadas mediante el microscopio de barrido SEM se registrarán estos datos en fichas para elaborar un mejor análisis de resultados.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de resultados

3.1.1. Adquisición de datos




Los datos adquiridos de rugosidad superficial y desgaste de flanco fueron registrados en fichas preestablecidas para facilitar su análisis, y evitar confusiones al interpretar los resultados correctamente.

Las fichas de 3.1.1.1. a la 3.1.1.8. comprenden los datos de las mediciones realizadas de rugosidad superficial Ra y Rz registradas con el rugosímetro Mitutoyo SJ210 que se muestra en la figura 47 calibrado con un patrón de rugosidad N° 370161606 correspondiente a $2.94 \mu\text{m}$ Ra para las 8 combinaciones de parámetros planteadas en la tabla 12 a los 5 primeros minutos de mecanizado, para una mayor confiabilidad se establecieron 3 repeticiones por combinación y en cada una se evaluaron 5 mediciones de rugosidad Ra y Rz. A continuación, se muestran los resultados






Fig. 47 Calibración del Rugosímetro Mitutoyo SJ210.
Fuente: Autores



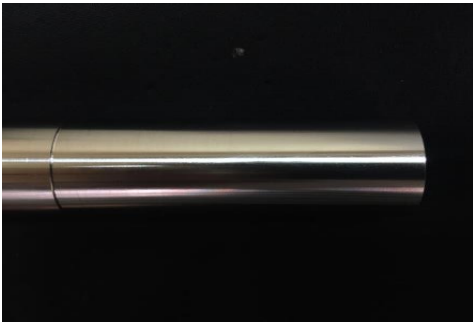
3.1.1.1. *Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento 1 (mecanizado en seco)*

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL						
Datos Informativos						
Tipo de estudio	Experimental	Ítem				
Fecha de ejecución						
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM					
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por	Ing. Diego Núñez			
	Mayorga Leticia					
Parámetros de torneado y lubricación						
Material:	Acero Inoxidable AISI 304					
Sistema de lubricación	Seco					
Fluido lubricante:	No utilizado					
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025					
Tipo de operación:	Acabado					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)			
1222 - 195	122 - 0.1	0,4	0,8			
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO2 (bar)	Ángulo de incidencia de CO2	Diámetro de la salida de CO2 (mm)		
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A		
Parámetros de medición superficial						
Rugosímetro	Norma	Longitud de muestreo	Longitud de cutt of	Mediciones		
Mitutoyo SJ 210	ISO 4287	0,8 mm	2,5 µm	5		
Registro de mediciones Ra						
Probeta	Med. 1 (µm)	Med. 2 (µm)	Med. 3 (µm)	Med. 4 (µm)	Med. 5 (µm)	Promedio (µm)
1A	0,617	0,694	0,552	0,59	0,59	0,6086
1B	0,698	0,834	0,599	0,67	0,891	0,7384
1C	0,561	0,605	0,489	0,494	0,577	0,5452
Promedio Total			0,630733333			
Registro de mediciones Rz						
Probeta	Med. 1 (µm)	Med. 2 (µm)	Med. 3 (µm)	Med. 4 (µm)	Med. 5 (µm)	Promedio (µm)
1A	2,947	3,57	3,217	2,984	2,777	3,099
1B	4,311	4,404	4,154	4,521	3,937	4,2654
1C	4,541	3,982	3,41	3,336	3,695	3,7928
Promedio Total			3,719066667			
Resultados						
		Estado Superficial				
		Textura rugosa al tacto, marcas poco perceptibles a simple vista.				
		Clase de rugosidad				
		N6				
		Proceso				
		Torneado.				




3.1.1.2. *Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento 2
(mecanizado en seco)*

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL						
Datos Informativos						
Tipo de estudio	Experimental	Ítem				
Fecha de ejecución						
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM					
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por	Ing. Diego Núñez			
	Mayorga Leticia					
Parámetros de torneado y lubricación						
Material:	Acero Inoxidable AISI 304					
Sistema de lubricación:	Seco					
Fluido lubricante:	No utilizado					
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025					
Tipo de operación:	Acabado					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)			
1222 - 195	244.4 - 0.2	0,4	0,8			
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO2 (bar)	Ángulo de incidencia de CO2	Diámetro de la salida de CO2 (mm)		
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A		
Parámetros de medición superficial						
Rugosímetro	Norma	Longitud de muestreo	Longitud de cutt of	Mediciones		
Mitutoyo SJ 210	ISO 4287	0,8 mm	2,5 µm	5		
Registro de mediciones Ra						
Probeta	Med. 1 (µm)	Med. 2 (µm)	Med. 3 (µm)	Med. 4 (µm)	Med. 5 (µm)	Promedio (µm)
2A	1,38	1,369	1,383	1,048	1,828	1,4016
2B	1,591	1,486	1,423	1,346	1,176	1,4044
2C	0,984	1,054	1,051	1,04	1,01	1,0278
Promedio Total			1,277933333			
Registro de mediciones Rz						
Probeta	Med. 1 (µm)	Med. 2 (µm)	Med. 3 (µm)	Med. 4 (µm)	Med. 5 (µm)	Promedio (µm)
2A	7,455	7,013	6,026	4,758	5,377	6,1258
2B	6,937	7,376	6,662	5,994	7	6,7938
2C	5,783	5,863	6,684	7,752	6,583	6,533
Promedio Total			6,4842			
Resultados						
		Estado Superficial				
		Textura rugosa al tacto, marcas perceptibles a simple vista.				
		Clase de rugosidad				
		N6				
		Proceso				
		Torneado.				



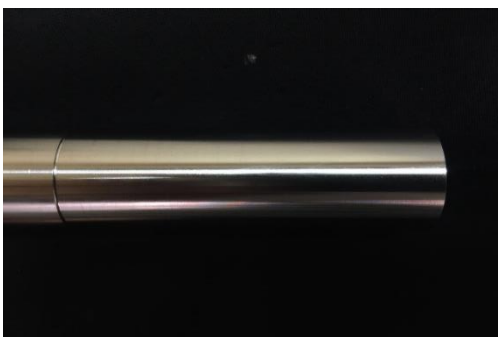
3.1.1.3. *Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento 3
(mecanizado en seco)*

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL			
Datos Informativos			
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	
Fecha de ejecución			
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM		
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por	Ing. Diego Núñez
	Mayorga Leticia		
Parámetros de torneado y lubricación			
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		
Sistema de lubricación	Seco		
Fluido lubricante:	No utilizado		
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		
Tipo de operación:	Acabado		
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)
1473 - 235	147.3 - 0.1	0.4	0.8
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO2 (bar)	Ángulo de incidencia de CO2
N/A	N/A	N/A	N/A
			Diámetro de la salida de CO2 (mm)
			N/A
Parámetros de medición superficial			
Rugosímetro	Norma	Longitud de muestreo	Longitud de cutt of
Mitutoyo SJ 210	ISO 4287	0,8 mm	2,5 µm
			Mediciones
			5
Registro de mediciones Ra			
Probeta	Med. 1 (µm)	Med. 2 (µm)	Med. 3 (µm)
3A	0,717	0,747	0,76
3B	0,727	0,76	0,922
3C	0,862	0,759	0,79
			Med. 4 (µm)
			0,844
			Med. 5 (µm)
			0,825
			Promedio (µm)
			0,7708
			0,8158
			0,816
			Promedio Total
			0,800866667
Registro de mediciones Rz			
3A	4,356	4,472	4,699
3B	4,475	4,929	5,835
3C	5,128	4,394	5,34
			4,426
			5,682
			4,541
			Promedio Total
			4,8756
Resultados			
		Estado Superficial	
		Textura rugosa al tacto, marcas perceptibles a simple vista.	
		Clase de rugosidad	
		N6	
Proceso		Torneado.	




**3.1.1.4. Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento 4
(mecanizado en seco)**

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		 FICM				
REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL						
Datos Informativos						
Tipo de estudio	Experimental	Ítem				
Fecha de ejecución						
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM					
Elaborado por	Carranza Diego Mayorga Leticia	Revisado por	Ing. Diego Núñez			
Parámetros de torneado y lubricación						
Material:	Acero Inoxidable AISI 304					
Sistema de lubricación	Seco					
Fluido lubricante:	No utilizado					
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025					
Tipo de operación:	Acabado					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)			
1473 - 235	294.6 - 0.2	0,4	0,8			
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO2 (bar)	Ángulo de incidencia de CO2 Diámetro de la salida de CO2 (mm)			
N/A	N/A	N/A	N/A			
Parámetros de medición superficial						
Rugosímetro	Norma	Longitud de muestreo	Longitud de cutt of Mediciones			
Mitutoyo SJ 210	ISO 4287	0,8 mm	2,5 µm 5			
Registro de mediciones Ra						
Probeta	Med. 1 (µm)	Med. 2 (µm)	Med. 3 (µm)	Med. 4 (µm)	Med. 5 (µm)	Promedio (µm)
4A	1,774	1,577	1,684	1,959	1,919	1,7826
4B	2,092	2,157	1,665	1,726	2,067	1,9414
4C	1,69	1,937	2,049	1,72	2,098	1,8988
Promedio Total			1,874266667			
Registro de mediciones Rz						
4A	8,63	7,45	7,677	8,77	8,393	8,184
4B	9,157	10,7	8,183	8,62	9,525	9,237
4C	10,653	10,128	11,165	9,003	11,85	10,5598
Promedio Total			9,326933333			
Resultados						
		<p>Estado Superficial Textura rugosa al tacto, marcas perceptibles a simple vista.</p> <p>Clase de rugosidad N6</p> <p>Proceso Torneado.</p>				



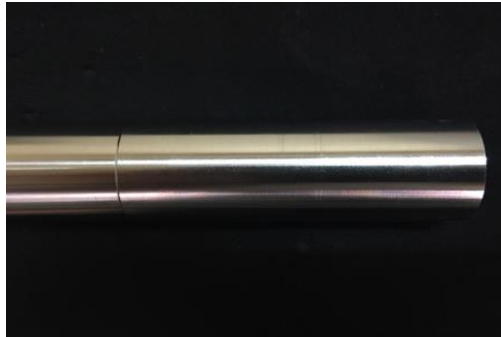
**3.1.1.5. Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento 5
(mecanizado con sistema Cryo-MQL + 0,5% nanoTiO₂)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
						
REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL						
Datos Informativos						
Tipo de estudio	Experimental	Ítem				
Fecha de ejecución						
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM					
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por	Ing. Diego Núñez			
	Mayorga Leticia					
Parámetros de torneado y lubricación						
Material:	Acero Inoxidable AISI 304					
Sistema de lubricación:	Híbrido					
Fluido lubricante:	CO ₂ Criogénico + MQL + Nano TiO ₂					
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025					
Tipo de operación:	Acabado					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)			
1222 - 195	122 - 0.1	0,4	0,8			
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO ₂ (bar)	Ángulo de incidencia de CO ₂	Diámetro de la salida de CO ₂ (mm)		
480	2	60	45°	1.5		
Parámetros de medición superficial						
Rugosímetro	Norma	Longitud de muestreo	Longitud de cutt of	Mediciones		
Mitutoyo SJ 210	ISO 4287	0,8 mm	2,5 µm	5		
Registro de mediciones Ra						
Probeta	Med. 1 (µm)	Med. 2 (µm)	Med. 3 (µm)	Med. 4 (µm)	Med. 5 (µm)	Promedio (µm)
5A	0,451	0,609	0,521	0,423	0,37	0,4748
5B	0,518	0,566	0,507	0,578	0,572	0,5482
5C	0,479	0,441	0,496	0,44	0,465	0,4642
Promedio Total			0,495733333			
Registro de mediciones Rz						
Probeta	Med. 1 (µm)	Med. 2 (µm)	Med. 3 (µm)	Med. 4 (µm)	Med. 5 (µm)	Promedio (µm)
5A	2,905	3,615	3,383	2,531	2,406	2,968
5B	3,034	3,625	2,964	3,975	3,173	3,3542
5C	2,743	2,477	2,964	2,686	2,7	2,714
Promedio Total			3,012066667			
Resultados						
			Estado Superficial			
			Superficie Lisa al tacto, marcas poco perceptibles a simple vista.			
			Clase de rugosidad			
			N5			
Proceso			Torneado.			



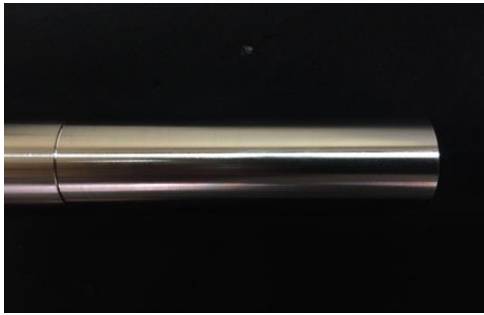
**3.1.1.6. Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento 6
(mecanizado con sistema Cryo-MQL + 0,5% nanoTiO₂)**

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL						
Datos Informativos						
Tipo de estudio	Experimental	Ítem				
Fecha de ejecución						
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM					
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por	Ing. Diego Núñez			
	Mayorga Leticia					
Parámetros de torneado y lubricación						
Material:	Acero Inoxidable AISI 304					
Sistema de lubricación:	Híbrido					
Fluido lubricante:	CO ₂ Criogénico + MQL + Nano TiO ₂					
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025					
Tipo de operación:	Acabado					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)			
1222 - 195	244.4 - 0.2	0,4	0,8			
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO ₂ (bar)	Ángulo de incidencia de CO ₂			
480	2	57	45°			
Parámetros de medición superficial						
Rugosímetro	Norma	Longitud de muestreo	Longitud de cutt of			
Mitutoyo SJ 210	ISO 4287	0,8 mm	2,5 μm			
Registro de mediciones Ra						
Probeta	Med. 1 (μm)	Med. 2 (μm)	Med. 3 (μm)	Med. 4 (μm)	Med. 5 (μm)	Promedio (μm)
6A	0,812	0,703	0,69	0,681	0,713	0,7198
6B	0,957	0,898	0,899	0,896	0,896	0,9092
6C	0,787	0,89	0,853	0,895	0,797	0,8145
Promedio Total			0,8145			
Registro de mediciones Rz						
Probeta	Med. 1 (μm)	Med. 2 (μm)	Med. 3 (μm)	Med. 4 (μm)	Med. 5 (μm)	Promedio (μm)
6A	8,219	4,134	6,178	4,073	4,245	5,3698
6B	5,537	4,575	4,55	4,428	4,556	4,7292
6C	4,58	4,944	4,153	5,222	3,857	3,3542
Promedio Total			4,4844			
Resultados						
			Estado Superficial			
			Superficie Lisa al tacto, marcas perceptibles a simple vista.			
			Clase de rugosidad			
N6				Proceso		
Torneado.						

**3.1.1.7. Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento 7
(mecanizado con sistema Cryo-MQL + 0,5% nanoTiO₂)**

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL						
Datos Informativos						
Tipo de estudio	Experimental	Ítem				
Fecha de ejecución						
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM					
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por	Ing. Diego Núñez			
	Mayorga Leticia					
Parámetros de torneado y lubricación						
Material:	Acero Inoxidable AISI 304					
Sistema de lubricación:	CO ₂ Criogénico + MQL + Nano TiO ₂					
Fluido lubricante:	CNMG120408 MF 2025					
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025					
Tipo de operación:	Acabado					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)			
	1473 - 235	147.3 - 0.1	0,4	0,8		
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO ₂ (bar)	Ángulo de incidencia de CO ₂	Diámetro de la salida de CO ₂ (mm)		
	480	2	60	45°	1.5	
Parámetros de medición superficial						
Rugosímetro	Norma	Longitud de muestreo	Longitud de cutt of	Mediciones		
Mitutoyo SJ 210	ISO 4287	0,8 mm	2,5 μm	5		
Registro de mediciones Ra						
Probeta	Med. 1 (μm)	Med. 2 (μm)	Med. 3 (μm)	Med. 4 (μm)	Med. 5 (μm)	Promedio (μm)
7A	0,972	1,059	1,064	1,099	1,091	1,057
7B	0,61	0,648	0,772	0,676	0,764	0,694
7C	0,796	0,659	0,623	0,916	0,752	0,7492
Promedio Total			0,8334			
Registro de mediciones Rz						
Probeta	Med. 1 (μm)	Med. 2 (μm)	Med. 3 (μm)	Med. 4 (μm)	Med. 5 (μm)	Promedio (μm)
7A	4,75	4,902	4,684	4,771	4,824	4,7862
7B	4,398	4,888	5,009	5,284	5,353	4,9864
7C	4,683	3,777	4,158	5,097	4,624	4,4678
Promedio Total			4,7468			
Resultados						
			Estado Superficial			
			Textura rugosa al tacto, marcas perceptibles a simple vista.			
			Clase de rugosidad			
			N6			
			Proceso			
			Torneado.			

**3.1.1.8. Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento 8
(mecanizado con sistema Cryo-MQL + 0,5% nanoTiO2)**

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		 FICM				
REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL						
Datos Informativos						
Tipo de estudio	Experimental	Ítem				
Fecha de ejecución						
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM					
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por	Ing. Diego Núñez			
	Mayorga Leticia					
Parámetros de torneado y lubricación						
Material:	Acero Inoxidable AISI 304					
Sistema de lubricación:	Seco					
Fluido lubricante:	CO2 Criogénico + MQL + Nano TiO2					
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025					
Tipo de operación:	Acabado					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)			
1473 - 235	294.6 - 0.2	0.4	0.8			
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO2 (bar)	Ángulo de incidencia de CO2	Diámetro de la salida de CO2 (mm)		
480	2	60	45°	1.5		
Parámetros de medición superficial						
Rugosímetro	Norma	Longitud de muestreo	Longitud de cutt of	Mediciones		
Mitutoyo SJ 210	ISO 4287	0.8 mm	2,5 µm	5		
Registro de mediciones Ra						
Probeta	Med. 1 (µm)	Med. 2 (µm)	Med. 3 (µm)	Med. 4 (µm)	Med. 5 (µm)	Promedio (µm)
8A	0,634	0,923	0,94	0,853	0,97	0,864
8B	0,95	0,946	0,657	0,952	0,921	0,885
8C	0,97	0,927	0,964	0,827	0,715	0,881
Promedio Total			0,8766			
Registro de mediciones Rz						
Probeta	Med. 1 (µm)	Med. 2 (µm)	Med. 3 (µm)	Med. 4 (µm)	Med. 5 (µm)	Promedio (µm)
8A	4,176	4,443	4,603	4,287	4,832	4,468
8B	4,941	4,859	3,832	4,604	4,252	4,498
8C	5,535	4,893	5,261	4,801	4,13	4,924
Promedio Total			4,629933333			
Resultados						
		Estado Superficial				
		Textura rugosa al tacto, marcas perceptibles a simple vista.				
		Clase de rugosidad				
		N6				
		Proceso				
		Torneado.				

3.1.2. Rugosidad superficial Ra

En los 8 experimentos se registraron varias mediciones de rugosidad Ra para el proceso de cilindrado exterior, que varían en función de los parámetros de mecanizado, el mejor resultado de acabado superficial Ra promedio se registró en el experimento E05, donde la curva trazada en color morado representa los datos registrados en cada medición, el valor promedio usando los parámetros de mecanizado del experimento E05 fue de $0,496 \mu\text{m}$ que fue el menor de todos los experimentos planteados en el plan de recolección de información, mientras que el mayor fue de $1,874 \mu\text{m}$ correspondiente al experimento E04. En la figura 48 es evidente que se registró una rugosidad Ra menor para los experimentos en los que se empleó el sistema de lubricación híbrida.

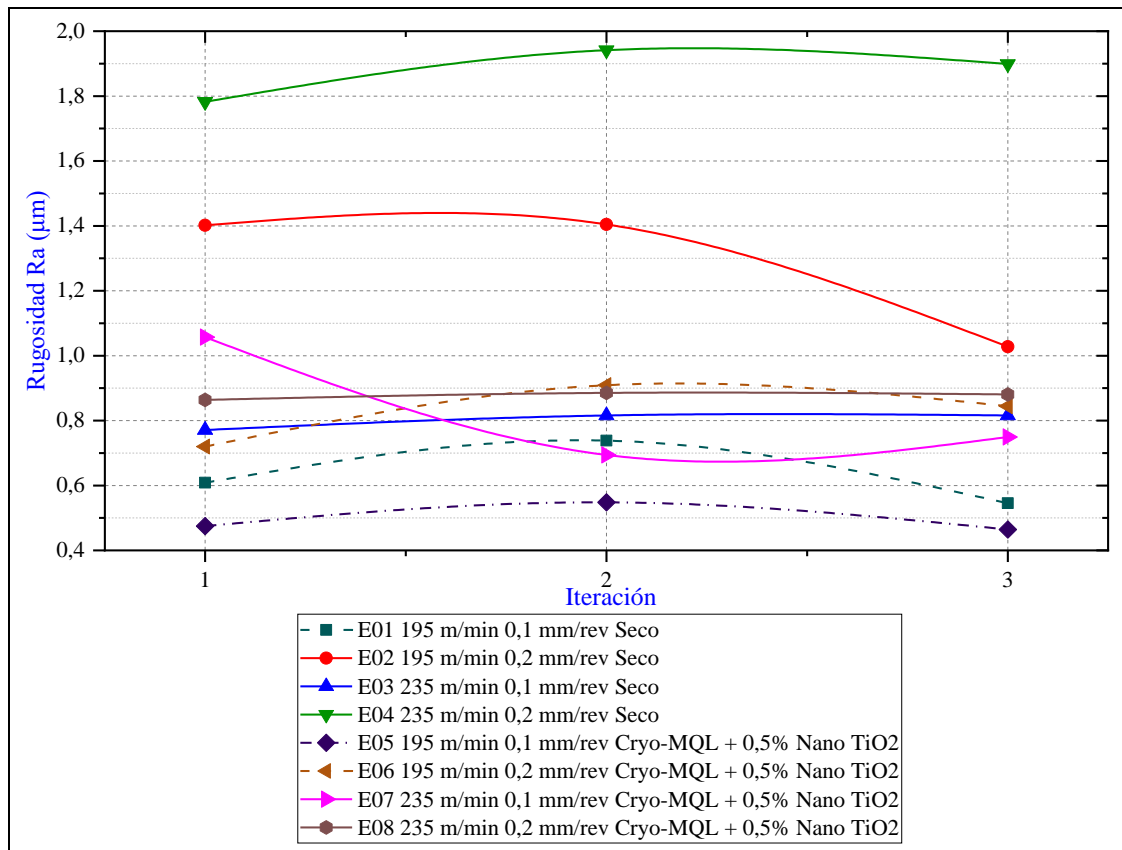


Fig. 48 Rugosidad superficial Ra de cada caso analizado.

Fuente: Autores

3.1.3. Rugosidad Superficial Rz

La rugosidad Rz representa una medición del pico más alto y el valle más bajo registrado en el perfil de calidad superficial por el rugosímetro Mitutoyo SJ210. Del mismo modo que las mediciones de rugosidad Ra, la curva del experimento E05 representa el valor Rz menor que todos los experimentos, cuyo valor promedio fue de 3,012 μm mientras que el mayor fue de 9,327 μm correspondiente al experimento E04. Al igual que en la gráfica de rugosidad Ra es evidente que Rz es menor en los experimentos evaluados con el sistema de lubricación híbrida.

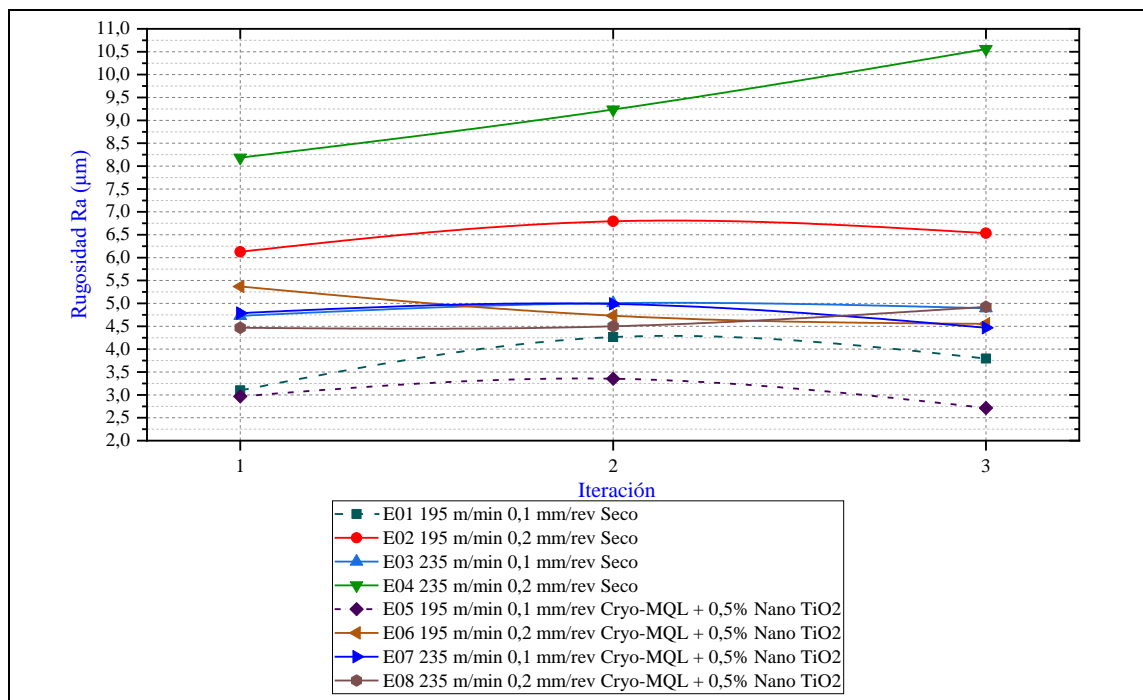


Fig. 49 Rugosidad superficial Rz de cada caso analizado

Fuente: Autores

La calidad superficial no solo depende del método de refrigeración, en las figuras 50 y 51 se representa la rugosidad superficial Ra y Rz en el eje Z de la gráfica y su comportamiento al variar la velocidad de corte y avance, la superficie transparente superior en ambas figuras representa la calidad superficial alcanzada con mecanizado en seco, mientras que la curva opaca inferior, la calidad superficial alcanzada haciendo uso del sistema híbrido Cryo-MQL + 0,5% Nano TiO₂. Cabe resaltar que cuando existen valores menores de rugosidad, la calidad superficial es mejor.

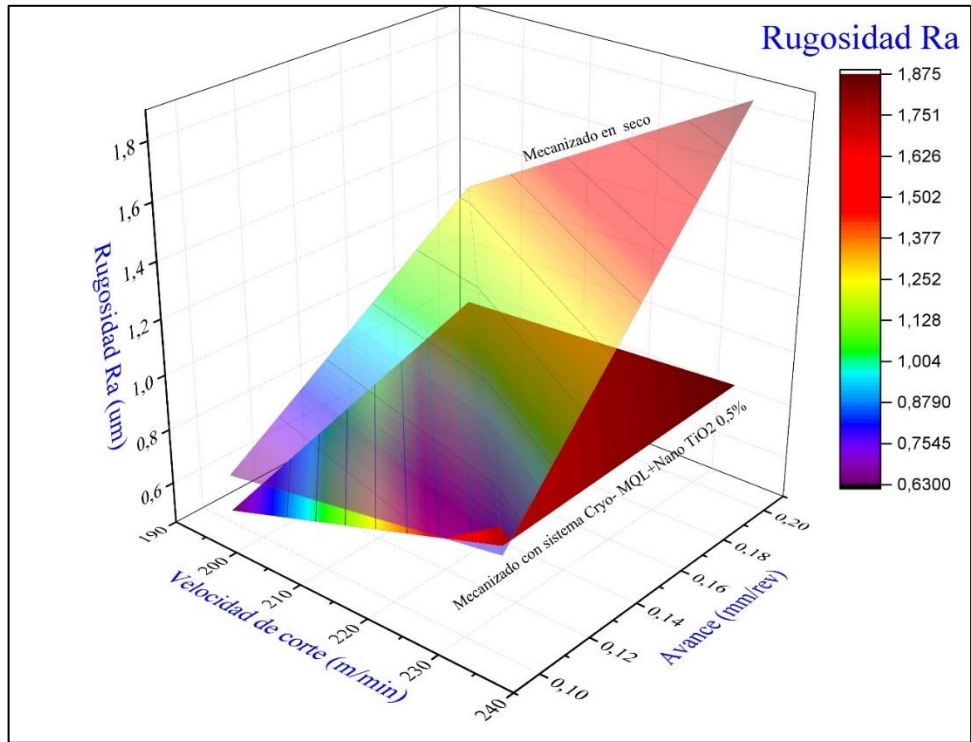


Fig. 50 Rugosidad Ra en función de las velocidades de corte y avance (mecanizado en seco y Cryo-MQL + 0,5% Nano TiO2)

Fuente: Autores

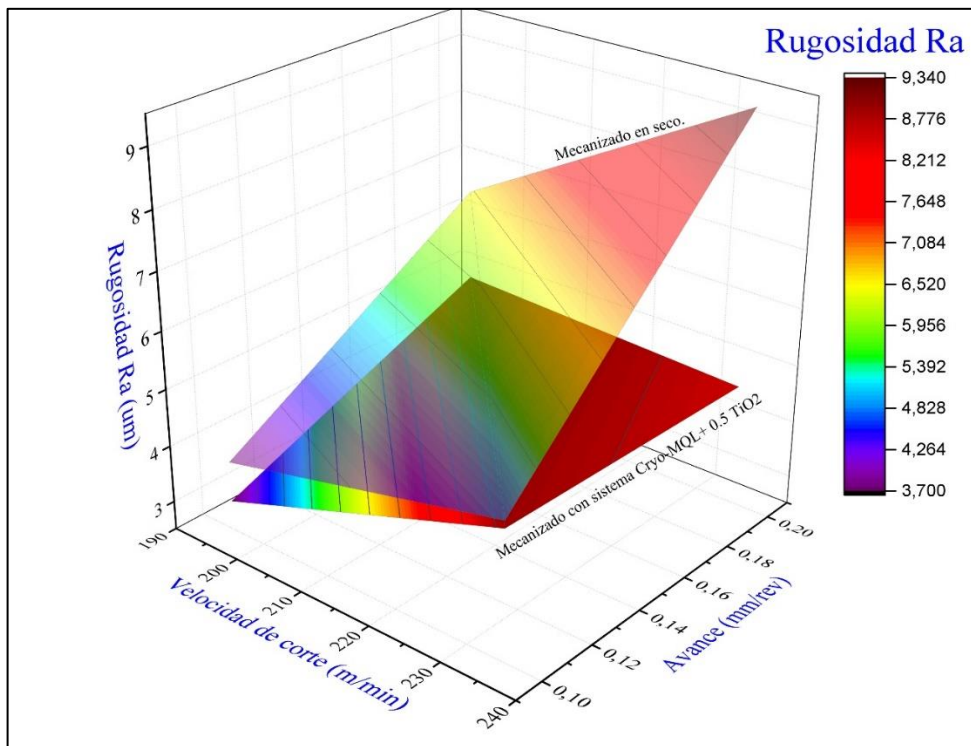


Fig. 51 Rugosidad Rz en función de las velocidades de corte y avance (mecanizado en seco y Cryo-MQL + 0,5% Nano TiO2)



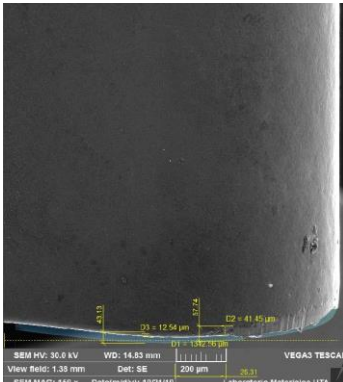
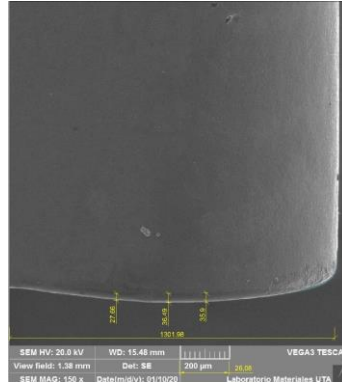
Fuente: Autores

3.1.4. Evaluación del desgaste de flanco de la herramienta de corte



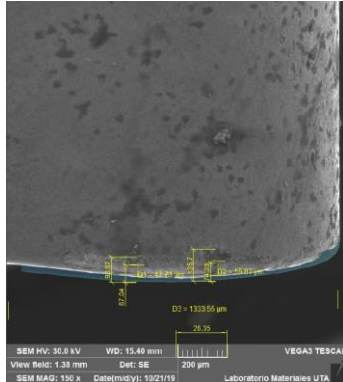
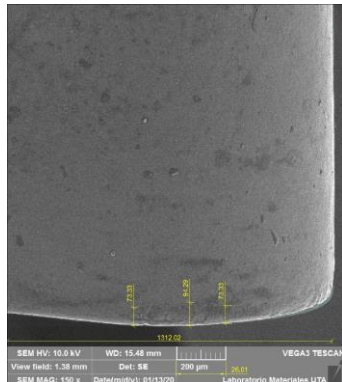
Los datos obtenidos mediante las mediciones registradas cada 5 minutos en el microscopio electrónico de barrido se presentan en las fichas 3.1.4.1. a 3.1.4.40. las variaciones corresponden a los parámetros descritos en la tabla 12 de combinaciones, donde los 8 primeros experimentos tienen parámetros similares, la diferencia es el método de lubricación en los últimos 4 experimentos, de este modo, se puede efectuar una comparación de métodos de lubricación.

La evaluación de desgaste se efectúa usando las dos velocidades de corte planteadas aplicando el criterio establecido en la norma ISO 3685, la cual establece un límite de desgaste de flanco de 0,3 mm en caso de ser uniforme, posteriormente con los datos registrados se procede a obtener un modelo matemático para predecir la vida útil de la herramienta en función de la velocidad de corte.



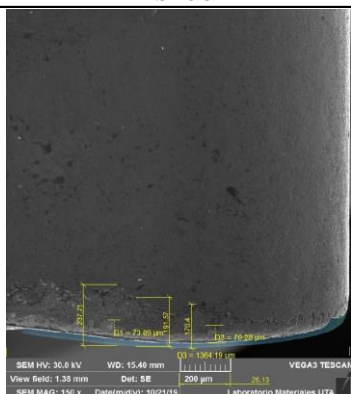
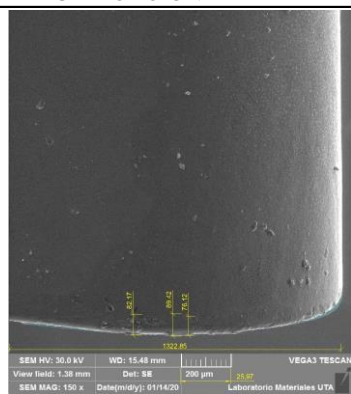
3.1.4.1. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E01 y E05 (5 minutos de mecanizado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
 					
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
Datos Informativos					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem		B	
Fecha de ejecución					
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por		Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia				
Parámetros de torneado y lubricación					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)	Tiempo de mecanizado (min)	
1222 - 195	122 - 0.1	0,4	0,8	5	
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación:	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO ₂ +CO ₂ Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist @ Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO ₂	Ángulo de incidencia de CO ₂	Diámetro de la salida de CO ₂	
480	2	60	45°	1.5	
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO			LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
					
<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 57,74 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 50,44 um			<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 35,9 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 33,35 um		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta no supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 um en la zona media del flanco, y 600 um como desgaste máximo.					
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción y desprendimiento del recubrimiento.					



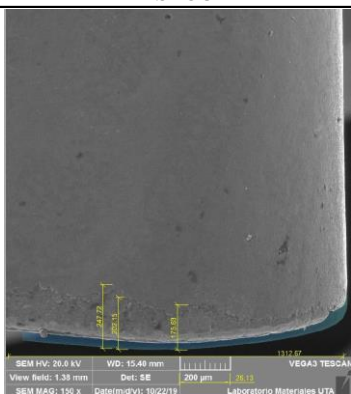
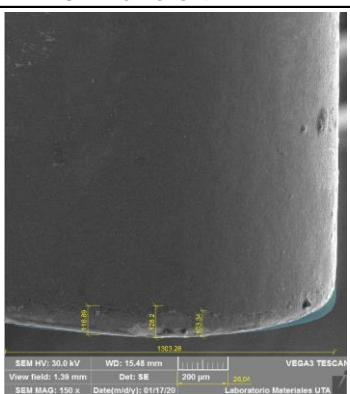
3.1.4.2. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E01 y E05 (10 minutos de mecanizado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
 					
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
Datos Informativos					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem		B	
Fecha de ejecución					
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por		Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia				
Parámetros de torneado y lubricación					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)		Tiempo de mecanizado (min)
1222 - 195	122 - 0.1	0,4	0,8		10
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación:	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO ₂ +CO ₂ Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist ® Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO ₂	Ángulo de incidencia de CO ₂	Diámetro de la salida de CO ₂	
480	2	60	45°	1.5	
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO			LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
					
<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 125,70 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 98,83 um			<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 94,29 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 80,32 um		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta no supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 um en la zona media del flanco, y 600 um como desgaste máximo.					
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción y desprendimiento del recubrimiento.					



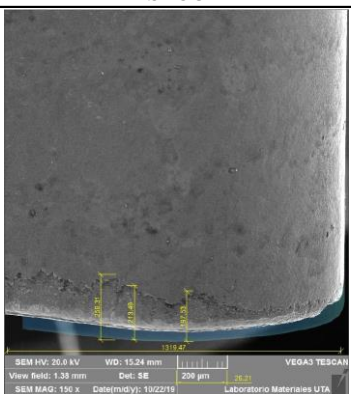
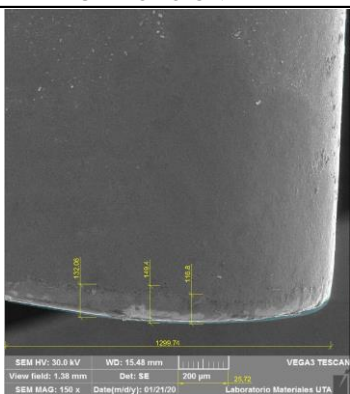
3.1.4.3. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E01 y E05 (15 minutos de mecanizado)

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA				
Datos Informativos				
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	B	
Fecha de ejecución				
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM			
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por	Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia			
Parámetros de torneado y lubricación				
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)	Tiempo de mecanizado (min)
1222 - 195	122 - 0.1	0,4	0,8	15
Material:	Acero Inoxidable AISI 304	Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación	Seco	Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO ₂ +CO ₂ Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado	Fluido lubricante:	Unist @ Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado	Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO ₂	Ángulo de incidencia de CO ₂	Diámetro de la salida de CO ₂
480	2	60	45°	1.5
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL				
SECO		LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
				
Desgaste máximo en el ancho del flanco VBb máx 237,71 µm		Desgaste máximo en el ancho del flanco VBb máx 89,42 µm		
Desgaste promedio en el ancho del flanco VB 199,89 µm		Desgaste promedio en el ancho del flanco VB 82,57 µm		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta no supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 µm en la zona media del flanco, y 600 µm como desgaste máximo.				
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción y desprendimiento del recubrimiento.				



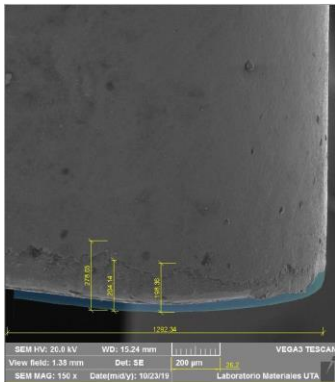
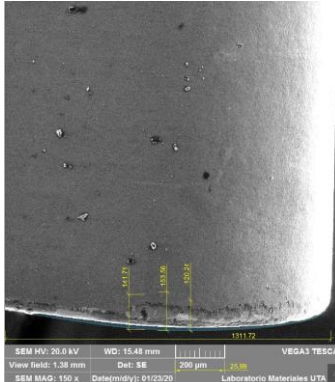
3.1.4.4. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E01 y E05 (20 minutos de mecanizado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
 					
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
Datos Informativos					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem		B	
Fecha de ejecución					
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por		Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia				
Parámetros de torneado y lubricación					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)		Tiempo de mecanizado (min)
1222 - 195	122 - 0.1	0,4	0,8		20
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO ₂ +CO ₂ Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist @ Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO ₂	Ángulo de incidencia de CO ₂	Diámetro de la salida de CO ₂	
480	2	60	45°	1.5	
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO			LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
					
<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 247,72 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 208,50 um			<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 128,20 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 116,14 um		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta no supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 um en la zona media del flanco, y 600 um como desgaste máximo.					
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción y desprendimiento del recubrimiento.					



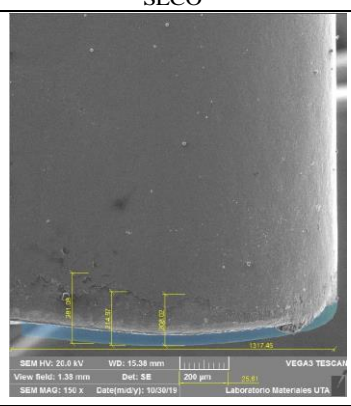
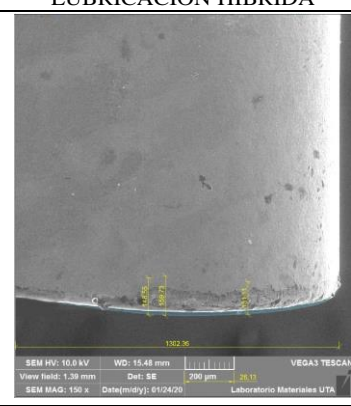
3.1.4.5. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E01 y E05 (25 minutos de mecanizado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
Datos Informativos					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem		B	
Fecha de ejecución					
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por		Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia				
Parámetros de torneado y lubricación					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)	Tiempo de mecanizado (min)	
1222 - 195	122 - 0.1	0,4	0,8	25	
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO2+CO2 Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist @ Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO2	Ángulo de incidencia de CO2	Diámetro de la salida de CO2	
480	2	60	45°	1.5	
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO			LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
					
<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 256,31 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 222,44 um			<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 132,06 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 132,75 um		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta no supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 um en la zona media del flanco, y 600 um como desgaste máximo.					
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción y desprendimiento del recubrimiento.					



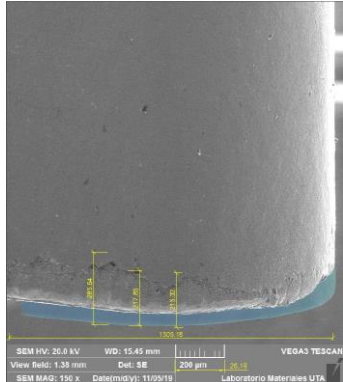
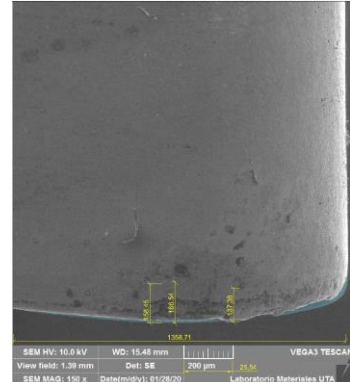
3.1.4.6. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E01 y E05 (30 minutos de mecanizado)

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
Datos Informativos					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem		B	
Fecha de ejecución					
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por		Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia				
Parámetros de torneado y lubricación					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)		Tiempo de mecanizado (min)
1222 - 195	122 - 0.1	0,4	0,8		30
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación:	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO ₂ +CO ₂ Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist © Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO ₂	Ángulo de incidencia de CO ₂	Diámetro de la salida de CO ₂	
480	2	60	45°	1.5	
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO			LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
					
Desgaste máximo en el ancho del flanco VBb máx 278,65 um Desgaste promedio en el ancho del flanco VB 227,05 um			Desgaste máximo en el ancho del flanco VBb máx 153,56 um Desgaste promedio en el ancho del flanco VB 138,50 um		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 um en la zona media del flanco, y 600 um como desgaste máximo.					
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción y desprendimiento del recubrimiento.					



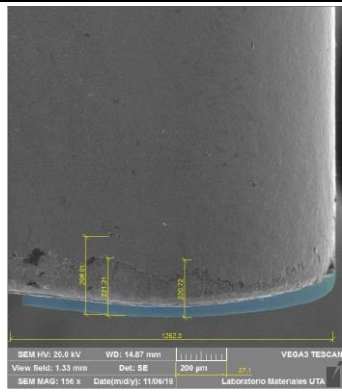
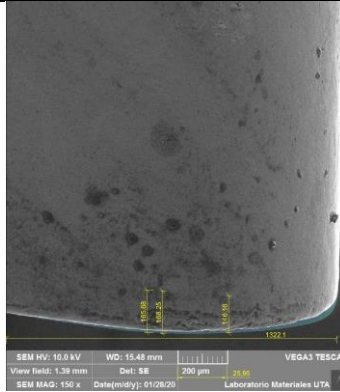
3.1.4.7. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E01 y E05 (35 minutos de mecanizado)

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA				
Datos Informativos				
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	B	
Fecha de ejecución				
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM			
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por	Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia			
Parámetros de torneado y lubricación				
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)	Tiempo de mecanizado (min)
1222 - 195	122 - 0.1	0,4	0,8	35
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304
Sistema de lubricación:	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO ₂ +CO ₂ Criogénico
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist @ Coolube 2210.
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO ₂	Ángulo de incidencia de CO ₂	Diámetro de la salida de CO ₂
480	2	60	45°	1.5
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL				
SECO		LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
				
<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 281,08 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 234,69 um		<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 159,73 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 146,46 um		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 um en la zona media del flanco, y 600 um como desgaste máximo.				
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción y desprendimiento del recubrimiento.				

3.1.4.8. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E01 y E05 (40 minutos de mecanizado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
 					
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
Datos Informativos					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem		B	
Fecha de ejecución					
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por		Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia				
Parámetros de torneado y lubricación					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)		Tiempo de mecanizado (min)
1222 - 195	122 - 0.1	0,4	0,8		40
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO2+CO2 Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist © Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO2	Ángulo de incidencia de CO2	Diámetro de la salida de CO2	
480	2	60	45°	1.5	
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO			LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
					
<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 285,64 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 239,60 um			<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 166,54 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 154,12 um		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 um en la zona media del flanco, sin llegar aun al criterio de 600 um como desgaste máximo.					
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción se presenta desprendimiento del recubrimiento y filo recrecido.					

3.1.4.9. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E01 y E05 (45 minutos de mecanizado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
 					
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
Datos Informativos					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem		B	
Fecha de ejecución					
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por		Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia				
Parámetros de torneado y lubricación					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)		Tiempo de mecanizado (min)
1222 - 195	122 - 0.1	0,4	0,8		45
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación:	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO ₂ +CO ₂ Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist ® Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO ₂	Ángulo de incidencia de CO ₂	Diámetro de la salida de CO ₂	
480	2	60	45°	1.5	
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO			LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
					
<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 298,61 μm <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 246,85 μm			<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 168,25 μm VB 160,03 μm		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta no supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 μm en la zona media del flanco, y 600 μm como desgaste máximo.					
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción y desprendimiento del recubrimiento.					

3.1.4.10. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E01 y E05 (50 minutos de mecanizado)



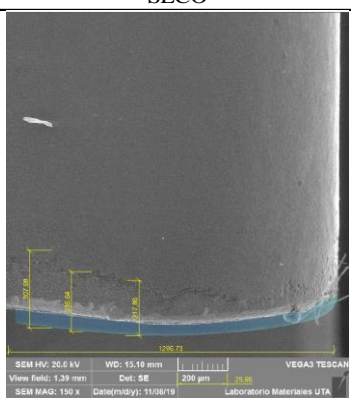
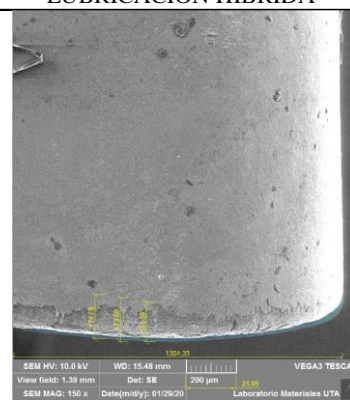
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA				
Datos Informativos				
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	B	
Fecha de ejecución				
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM			
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por	Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia			
Parámetros de torneado y lubricación				
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)	Tiempo de mecanizado (min)
1222 - 195	122 - 0.1	0,4	0,8	50
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304
Sistema de lubricación	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO ₂ +CO ₂ Criogénico
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist @ Coolube 2210.
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO ₂	Ángulo de incidencia de CO ₂	Diámetro de la salida de CO ₂
480	2	60	45°	1.5
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL				
SECO		LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
				
Desgaste máximo en el ancho del flanco VBb máx 307,68 um Desgaste promedio en el ancho del flanco VB 254,06 um		Desgaste máximo en el ancho del flanco VBb máx 174,08 um Desgaste promedio en el ancho del flanco VB 167,79 um		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 um en la zona media del flanco, sin llegar aun al criterio de 600 um como desgaste máximo.				
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción y desprendimiento del recubrimiento.				

Tabla 18 Desgaste de flanco en función del tiempo E01 & E05

Tiempo de mecanizado (min)	Desgaste de flanco VB (μm)	
	E01 195 m/min 0,1 mm/rev Seco	E05 195 m/min 0,1 mm/rev Cryo-MQL + 0,5% Nano TiO2
5	50,435	33,350
10	98,833	80,317
15	199,893	82,570
20	208,500	116,143
25	222,443	132,753
30	227,050	138,503
35	234,690	146,463
40	239,603	154,123
45	246,847	160,030
50	254,060	167,787

Fuente: Autores

En la tabla 17 se presentan los resultados obtenidos con las condiciones de mecanizado planteadas para el experimento E01 y el experimento E05, el parámetro que se varió fue el sistema de refrigeración y lubricación de la herramienta de corte, en los datos tabulados y la gráfica en la figura 52 de evolución del desgaste de flanco se muestra que el experimento realizado con lubricación híbrida (CO2 líquido y MQL+Nano TiO2) presenta valores inferiores en el tiempo, en comparación con el experimento realizado en seco.

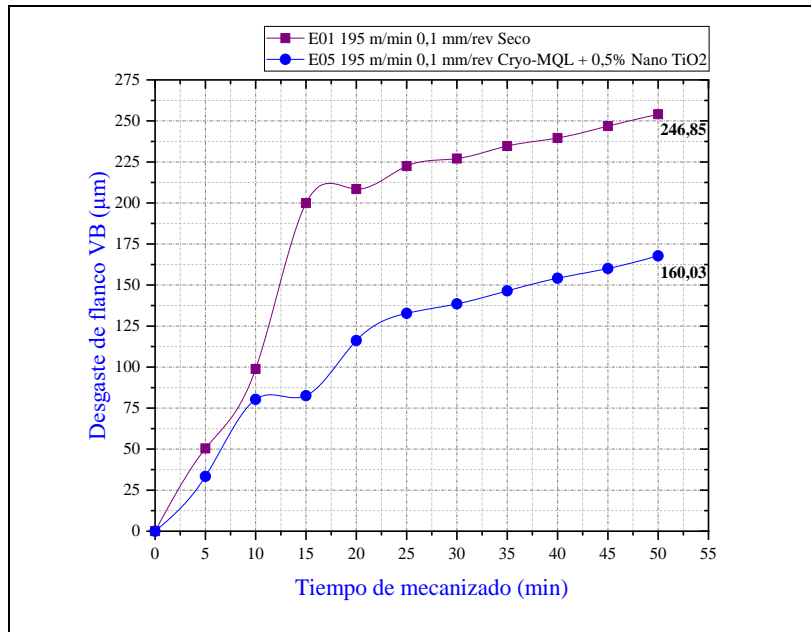


Fig. 52 Evolución del desgaste de flanco; comparativa (E01 & E05)

Fuente: Autores

Proyección del desgaste de flanco en el tiempo E01 & E05

En la figura 53 se representa la proyección del desgaste de flanco para ambos experimentos, donde se muestra que el experimento 1 alcanza el criterio de desgaste establecido por la norma ISO 3685 a los 71 minutos, mientras que el experimento evaluado con el sistema de lubricación híbrida a los 486 minutos, demostrando que el sistema de lubricación CO₂ líquido +MQL-Nano TiO₂ incrementa la vida útil de la herramienta de corte.

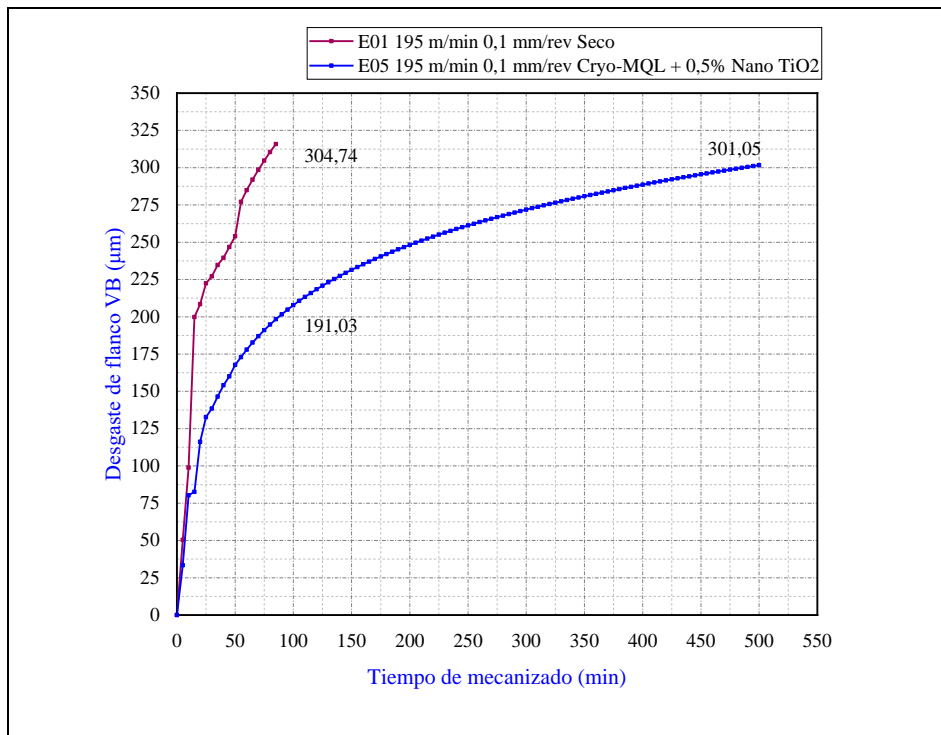


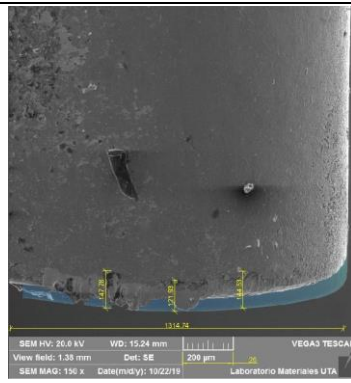
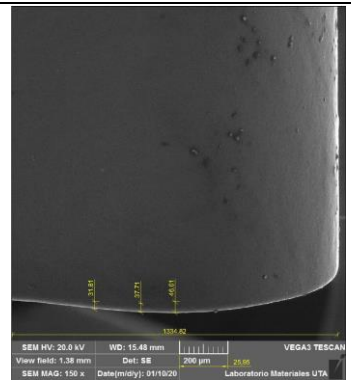




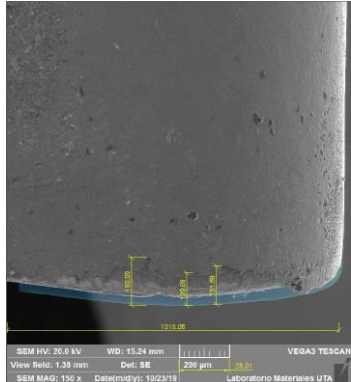
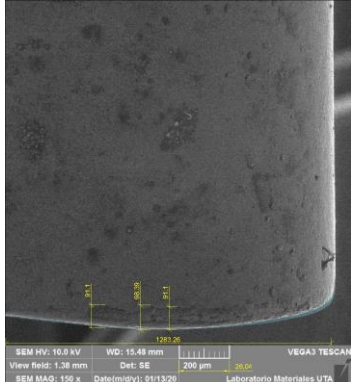
Fig. 53 Proyección del desgaste de flanco en el tiempo; comparativa (E01 & E05)

Fuente: Autores



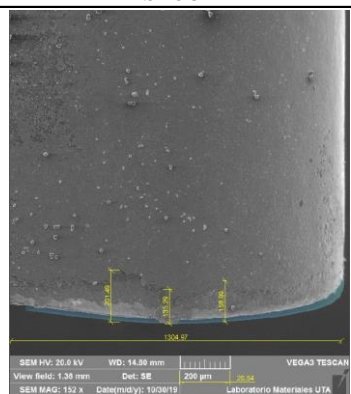
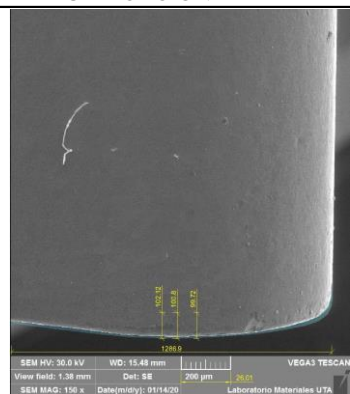
3.1.4.11. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E02 y E06 (5 minutos de mecanizado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
 					
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
Datos Informativos					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem		B	
Fecha de ejecución					
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por		Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia				
Parámetros de torneado y lubricación					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)	Tiempo de mecanizado (min)	
1222 - 195	244.4 - 0.2	0,4	0,8	5	
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO ₂ +CO ₂ Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist ® Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO ₂	Ángulo de incidencia de CO ₂	Diámetro de la salida de CO ₂	
480	2	60	45°	1.5	
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO			LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
					
<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 147,76 µm <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 138,07 µm			<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 46,01 µm <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 38,51 µm		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta no supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 µm en la zona media del flanco, y 600 µm como desgaste máximo.					
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción y desprendimiento del recubrimiento.					



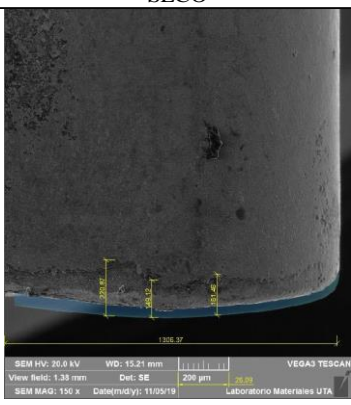
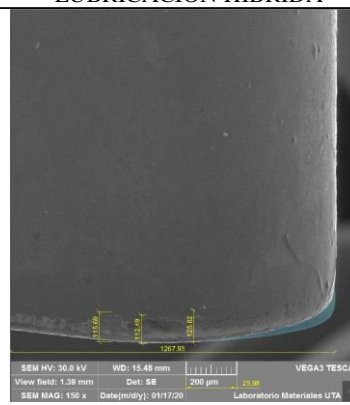
3.1.4.12. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E02 y E06 (10 minutos de mecanizado)

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
Datos Informativos					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem		B	
Fecha de ejecución					
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por		Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia				
Parámetros de torneado y lubricación					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)		Tiempo de mecanizado (min)
1222 - 195	244.4 - 0.2	0,4	0,8		10
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO ₂ +CO ₂ Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist © Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (m/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO ₂	Ángulo de incidencia de CO ₂	Diámetro de la salida de CO ₂	
480	2	60	45°	1.5	
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO			LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
					
<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 190,09 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 157,22 um			<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 98,39 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 93,53 um		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta no supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 um en la zona media del flanco, y 600 um como desgaste máximo.					
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción y desprendimiento del recubrimiento.					



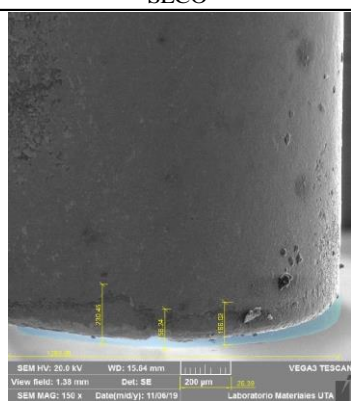
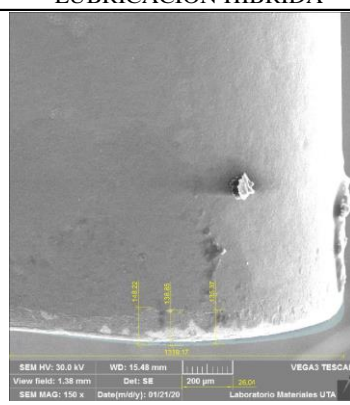
3.1.4.13. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E02 y E06 (15 minutos de mecanizado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
 					
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
Datos Informativos					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem		B	
Fecha de ejecución					
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por		Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia				
Parámetros de torneado y lubricación					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)		Tiempo de mecanizado (min)
1222 - 195	244.4 - 0.2	0,4	0,8		15
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación:	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO ₂ +CO ₂ Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist @ Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO ₂	Ángulo de incidencia de CO ₂	Diámetro de la salida de CO ₂	
480	2	60	45°	1.5	
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO			LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
					
<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 201,49 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 165,26 um			<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 102,12 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 100,88 um		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta no supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 um en la zona media del flanco, y 600 um como desgaste máximo.					
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción se presenta desprendimiento del recubrimiento y filo recrecido.					



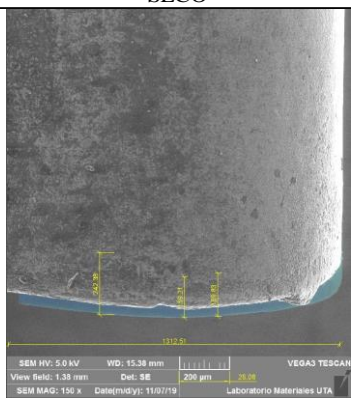
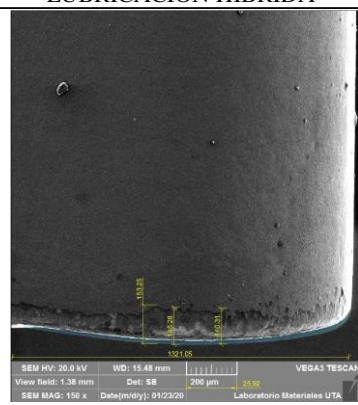
3.1.4.14. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E02 y E06 (20 minutos de mecanizado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
 					
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
Datos Informativos					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem		B	
Fecha de ejecución					
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por		Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia				
Parámetros de torneado y lubricación					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)		Tiempo de mecanizado (min)
1222 - 195	244.4 - 0.2	0,4	0,8		20
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO ₂ +CO ₂ Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist @ Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO ₂	Ángulo de incidencia de CO ₂	Diámetro de la salida de CO ₂	
480	2	60	45°	1.5	
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO			LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
					
<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 220,87 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 177,15 um			<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 125,82 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 118 um		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta no supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 um en la zona media del flanco, y 600 um como desgaste máximo.					
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción, se presenta desprendimiento del recubrimiento y filo recrecido.					



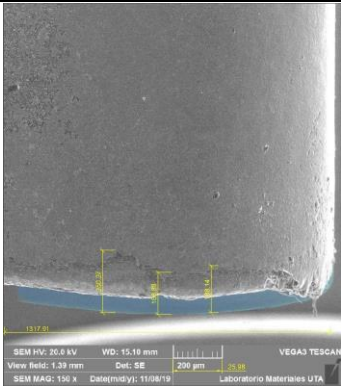
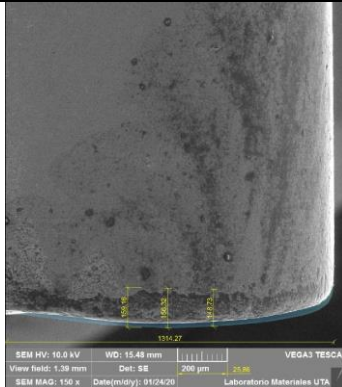
3.1.4.15. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E02 y E06 (25 minutos de mecanizado)

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
Datos Informativos					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem		B	
Fecha de ejecución					
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por		Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia				
Parámetros de torneado y lubricación					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)		Tiempo de mecanizado (min)
1222 - 195	244.4 - 0.2	0,4	0,8		25
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO ₂ +CO ₂ Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist @ Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO ₂	Ángulo de incidencia de CO ₂	Diámetro de la salida de CO ₂	
480	2	60	45°	1.5	
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO			LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
					
Desgaste máximo en el ancho del flanco VBb máx 230,45 um Desgaste promedio en el ancho del flanco VB 184,9 um			Desgaste máximo en el ancho del flanco VBb máx 148,22 um Desgaste promedio en el ancho del flanco VB 140,81 um		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta no supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 um en la zona media del flanco, y 600 um como desgaste máximo.					
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción, se presenta desprendimiento del recubrimiento y filo recrecido.					



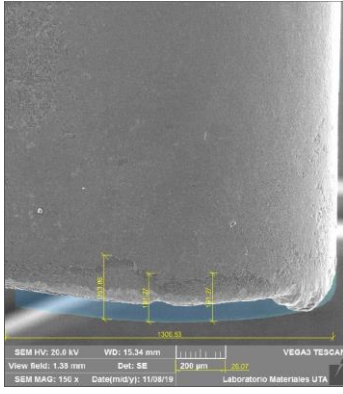
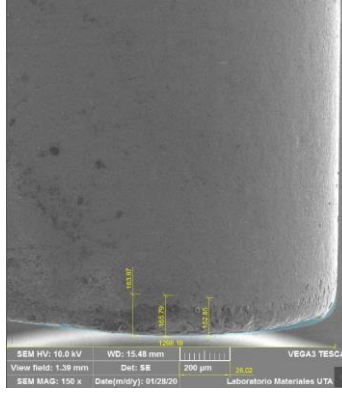
3.1.4.16. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E02 y E06 (30 minutos de mecanizado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
 					
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
Datos Informativos					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem		B	
Fecha de ejecución					
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por		Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia				
Parámetros de torneado y lubricación					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)		Tiempo de mecanizado (min)
1222 - 195	244.4 - 0.2	0,4	0,8		30
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación:	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO ₂ +CO ₂ Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist @ Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO ₂	Ángulo de incidencia de CO ₂	Diámetro de la salida de CO ₂	
480	2	60	45°	1.5	
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO			LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
					
<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 242,38 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 190,47 um			<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 153,25 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 146,28 um		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta no supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 um en la zona media del flanco, y 600 um como desgaste máximo.					
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción se presenta desprendimiento del recubrimiento.					



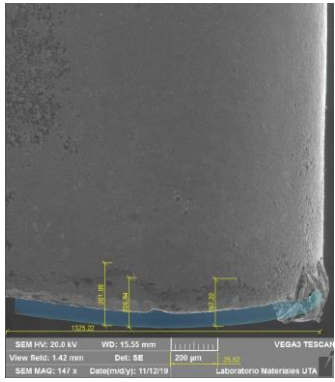
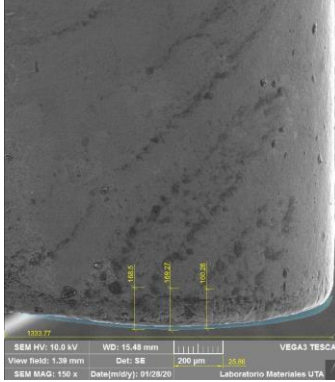
3.1.4.17. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E02 y E06 (35 minutos de mecanizado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
 					
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
Datos Informativos					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem		B	
Fecha de ejecución					
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por		Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia				
Parámetros de torneado y lubricación					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)		Tiempo de mecanizado (min)
1222 - 195	244.4 - 0.2	0,4	0,8		35
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO ₂ +CO ₂ Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist @ Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (m/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO ₂	Ángulo de incidencia de CO ₂	Diámetro de la salida de CO ₂	
480	2	60	45°	1.5	
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO			LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
					
<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 250,27 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 202,43 um			<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 159,16 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 154,74 um		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 um en la zona media del flanco sin llegar a los 600 um como desgaste máximo.					
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción y desprendimiento del recubrimiento.					

3.1.4.18. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E02 y E06 (40 minutos de mecanizado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
 					
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
Datos Informativos					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem		B	
Fecha de ejecución					
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por		Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia				
Parámetros de torneado y lubricación					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)		Tiempo de mecanizado (min)
1222 - 195	244.4 - 0.2	0,4	0,8		40
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO ₂ +CO ₂ Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist @ Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO ₂	Ángulo de incidencia de CO ₂	Diámetro de la salida de CO ₂	
480	2	60	45°	1.5	
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO			LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
					
<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 253,86 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 212,13 um			<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 165,79 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 160,87 um		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 um en la zona media del flanco, sin llegar a los 600 um como desgaste máximo.					
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción y desprendimiento del recubrimiento.					

3.1.4.19. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E02 y E06 (45 minutos de mecanizado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
 					
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
Datos Informativos					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem		B	
Fecha de ejecución					
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por		Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia				
Parámetros de torneado y lubricación					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)		Tiempo de mecanizado (min)
1222 - 195	244.4 - 0.2	0,4	0,8		45
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO ₂ +CO ₂ Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist ® Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO ₂	Ángulo de incidencia de CO ₂	Diámetro de la salida de CO ₂	
480	2	60	45°	1.5	
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO			LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
					
<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 261,09 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 221,72 um			<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 169,27 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 166,01 um		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 um en la zona media del flanco, sin llegar a los 600 um como desgaste máximo.					
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción y desprendimiento del recubrimiento.					

3.1.4.20. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E02 y E06 (50 minutos de mecanizado)



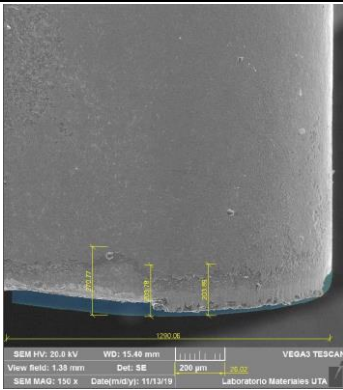
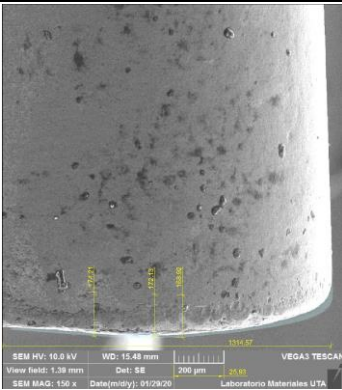
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA				
Datos Informativos				
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	B	
Fecha de ejecución				
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM			
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por	Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia			
Parámetros de torneado y lubricación				
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)	Tiempo de mecanizado (min)
1222 - 195	244.4 - 0.2	0,4	0,8	50
Material:	Acero Inoxidable AISI 304	Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación	Seco	Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO ₂ +CO ₂ Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado	Fluido lubricante:	Unist @ Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado	Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO ₂	Ángulo de incidencia de CO ₂	Diámetro de la salida de CO ₂
480	2	60	45°	1.5
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL				
SECO		LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
				
<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 270,77 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 226,15 um		<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 174,21 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 171,75 um		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 um en la zona media del flanco, sobrepasando los 600 um como desgaste máximo.				
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción y desprendimiento del recubrimiento.				

Tabla 19 Desgaste de flanco en función del tiempo E03 & E06

Tiempo de mecanizado	Desgaste de flanco VB	
	E02 195 m/min 0,2 mm/rev Seco	E06 195 m/min 0,2 mm/rev Cryo-MQL + 0,5% Nano TiO2
5	138,073	38,510
10	157,223	103,310
15	165,257	100,880
20	177,150	118,000
25	184,903	140,813
30	190,473	146,280
35	202,433	154,737
40	212,133	160,870
45	221,717	166,010
50	226,147	171,753

Fuente: Autores

En la tabla 18 se presentan los resultados obtenidos con las condiciones de mecanizado planteadas para los experimentos E02 y E06, el parámetro que varió fue el sistema de refrigeración y lubricación de la herramienta de corte, en los datos tabulados y la gráfica de la figura 54 de evolución del desgaste de flanco es evidente un comportamiento similar a los experimentos E02 y E06, ya que se obtiene un desgaste inferior en el tiempo en el experimento realizado con lubricación híbrida.

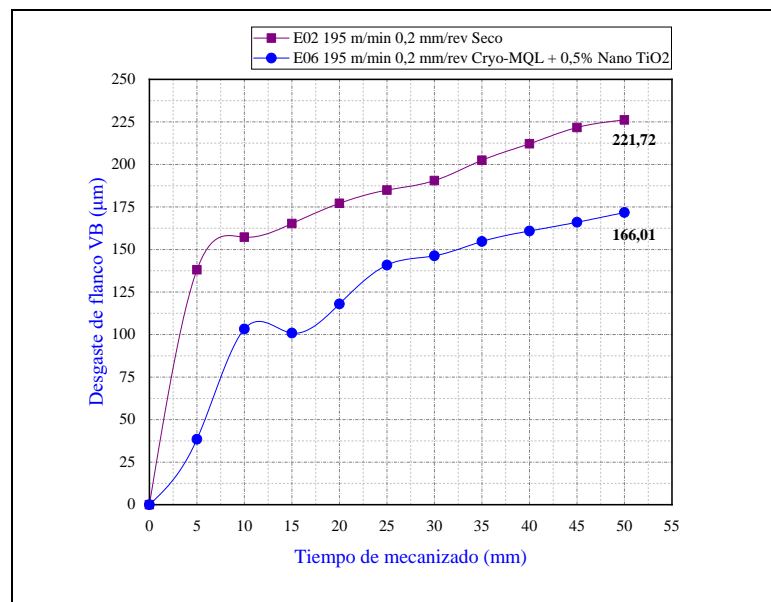


Fig. 54 Evolución del desgaste de flanco; comparativa (E02 & E06)

Fuente: Autores

Proyección del desgaste de flanco en el tiempo E02 & E06

En la figura 55 se representa la proyección del desgaste de flanco para ambos experimentos, donde se muestra que el experimento E02 alcanza el criterio de desgaste establecido por la norma ISO 3685 a los 87 minutos, mientras que el experimento E06 evaluado con el sistema de lubricación híbrida a los 466 minutos, demostrando que el sistema de lubricación CO₂ líquido +MQL-Nano TiO₂ incrementa la vida útil de la herramienta de corte, pese a la variación de velocidad de avance a 0,2 mm/ Rev.

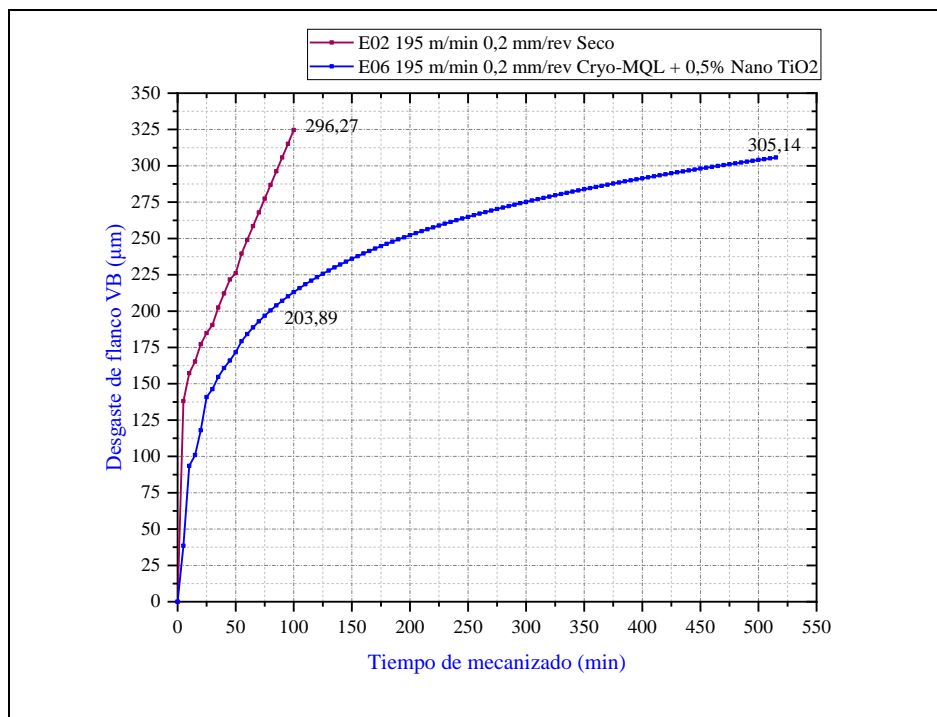


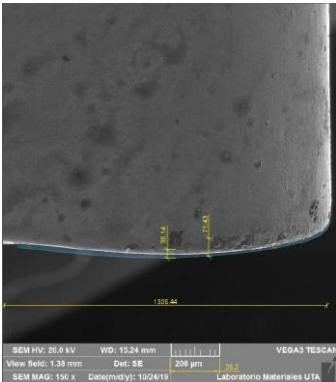
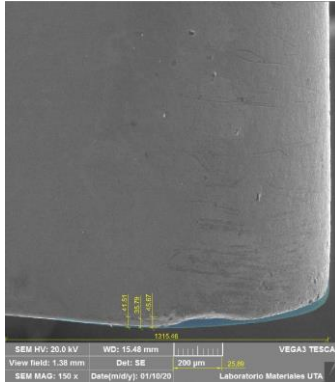




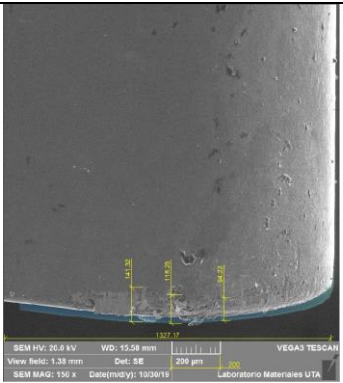
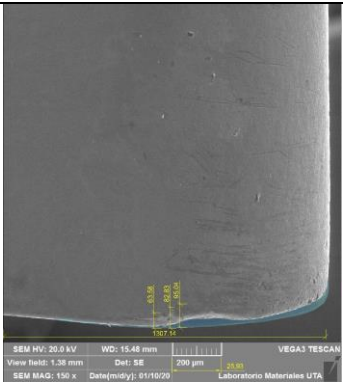
Fig. 55 Proyección del desgaste de flanco en el tiempo; comparativa (E02 & E06)

Fuente: Autores



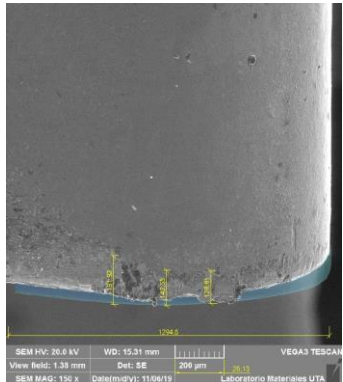
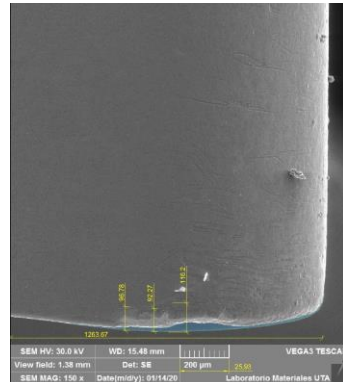
3.1.4.21. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E03 y E07 (5 minutos de mecanizado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
 					
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
Datos Informativos					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem		B	
Fecha de ejecución					
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por		Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia				
Parámetros de torneado y lubricación					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)		Tiempo de mecanizado (min)
1473 - 235	147.3 - 0.1	0,4	0,8		5
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO ₂ +CO ₂ Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist @ Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO ₂	Ángulo de incidencia de CO ₂	Diámetro de la salida de CO ₂	
480	2	60	45°	1.5	
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO			LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
					
<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 71,43 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 53,79 um			<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 45,67 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 71,42 um		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta no supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 um en la zona media del flanco, y 600 um como desgaste máximo.					
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción y desprendimiento del recubrimiento.					



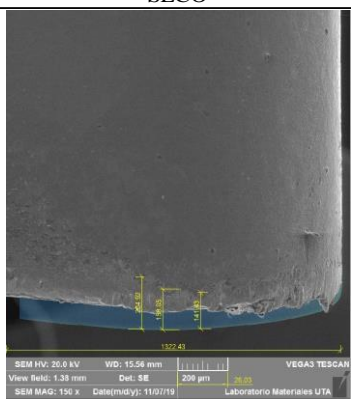
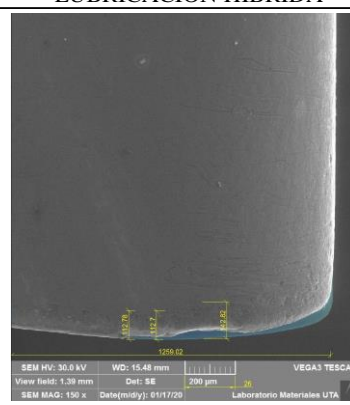
3.1.4.22. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E03 y E07 (10 minutos de mecanizado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
 					
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
Datos Informativos					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem		B	
Fecha de ejecución					
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por		Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia				
Parámetros de torneado y lubricación					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)	Tiempo de mecanizado (min)	
1473 - 235	147.3 - 0.1	0,4	0,8	10	
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO ₂ +CO ₂ Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist ® Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO ₂	Ángulo de incidencia de CO ₂	Diámetro de la salida de CO ₂	
480	2	60	45°	1.5	
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO			LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
					
<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 141,32 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 117,93 um			<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 95,04 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 80,48 um		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta no supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 um en la zona media del flanco, y 600 um como desgaste máximo.					
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción y desprendimiento del recubrimiento.					



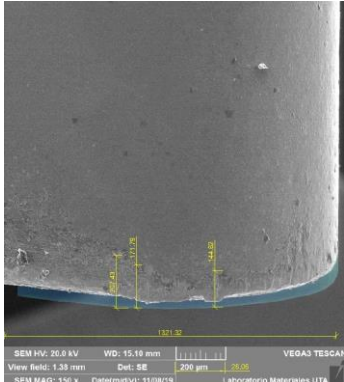
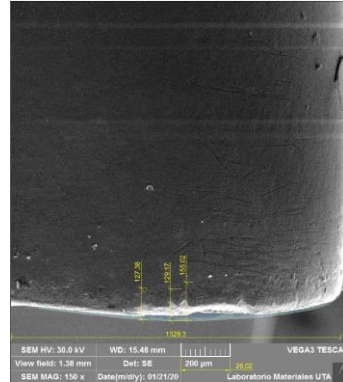
3.1.4.23. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E03 y E07 (15 minutos de mecanizado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
 					
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
Datos Informativos					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem		B	
Fecha de ejecución					
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por		Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia				
Parámetros de torneado y lubricación					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)	Tiempo de mecanizado (min)	
1473 - 235	147.3 - 0.1	0,4	0,8	15	
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación:	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO2+CO2 Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist @ Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO2	Ángulo de incidencia de CO2	Diámetro de la salida de CO2	
480	2	60	45°	1.5	
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO			LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
					
<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 191,92 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 154,43 um			<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 116,20 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 101,75 um		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta no supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 um en la zona media del flanco, y 600 um como desgaste máximo.					
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción y desprendimiento del recubrimiento.					



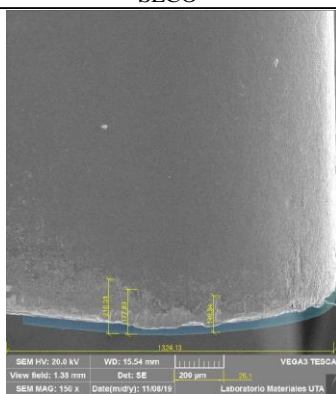
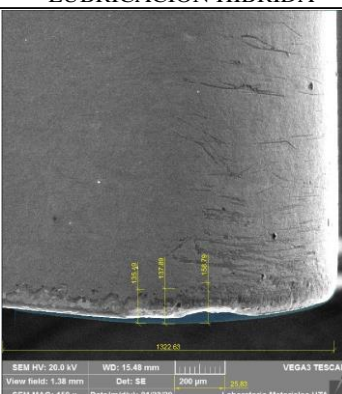
3.1.4.24. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E03 y E07 (20 minutos de mecanizado)

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
Datos Informativos					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem		B	
Fecha de ejecución					
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por		Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia				
Parámetros de torneado y lubricación					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)		Tiempo de mecanizado (min)
1473 - 235	147.3 - 0.1	0,4	0,8		20
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO ₂ +CO ₂ Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist @ Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO ₂	Ángulo de incidencia de CO ₂	Diámetro de la salida de CO ₂	
480	2	60	45°	1.5	
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO			LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
					
<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 204,92 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 168,13 um			<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 142,82 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 122,77 um		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta no supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 um en la zona media del flanco, y 600 um como desgaste máximo.					
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción y desprendimiento del recubrimiento.					



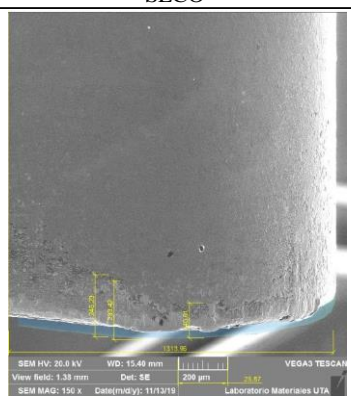
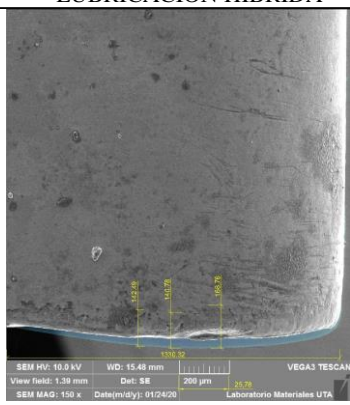
3.1.4.25. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E03 y E07 (25 minutos de mecanizado)

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
Datos Informativos					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem		B	
Fecha de ejecución					
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por		Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia				
Parámetros de torneado y lubricación					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)		Tiempo de mecanizado (min)
1473 - 235	147.3 - 0.1	0,4	0,8		25
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación:	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO ₂ +CO ₂ Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist® Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO ₂	Ángulo de incidencia de CO ₂	Diámetro de la salida de CO ₂	
480	2	60	45°	1.5	
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO			LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
					
Desgaste máximo en el ancho del flanco VBb máx 207,43 um Desgaste promedio en el ancho del flanco VB 174,61 um			Desgaste máximo en el ancho del flanco VBb máx 155,02 um Desgaste promedio en el ancho del flanco VB 137,19 um		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta no supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 um en la zona media del flanco, y 600 um como desgaste máximo.					
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción y desprendimiento del recubrimiento.					



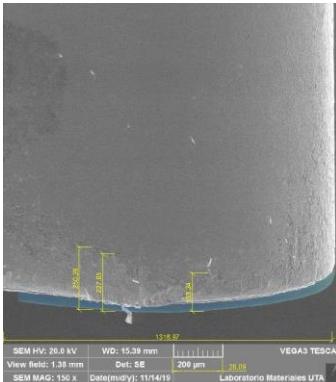
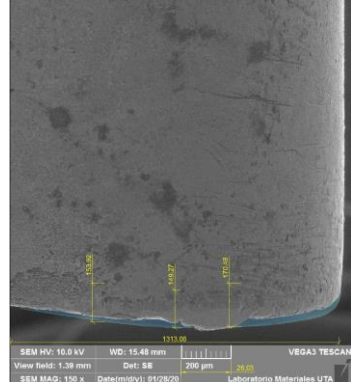
3.1.4.26. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E03 y E07 (30 minutos de mecanizado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
 					
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
Datos Informativos					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem		B	
Fecha de ejecución					
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por		Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia				
Parámetros de torneado y lubricación					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)		Tiempo de mecanizado (min)
1473 - 235	147.3 - 0.1	0.4	0.8		30
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación:	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO ₂ +CO ₂ Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist ® Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO ₂	Ángulo de incidencia de CO ₂	Diámetro de la salida de CO ₂	
480	2	60	45°	1.5	
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO			LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
					
<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 216,3 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 180,36 um			<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 158,79 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 144,06 um		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta no supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 um en la zona media del flanco, y 600 um como desgaste máximo.					
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción y desprendimiento del recubrimiento.					



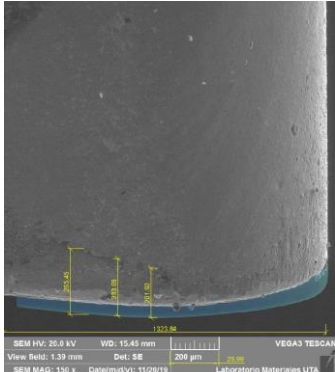
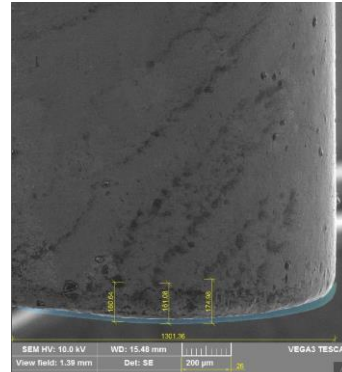
3.1.4.27. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E03 y E07 (35 minutos de mecanizado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
 					
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
Datos Informativos					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem		B	
Fecha de ejecución					
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por		Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia				
Parámetros de torneado y lubricación					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)		Tiempo de mecanizado (min)
1473 - 235	147.3 - 0.1	0,4	0,8		35
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO ₂ +CO ₂ Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist ® Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO ₂	Ángulo de incidencia de CO ₂	Diámetro de la salida de CO ₂	
480	2	60	45°	1.5	
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO			LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
					
<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 246,23 µm <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 206,85 µm			<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 168,76 µm <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 150,68 µm		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta no supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 µm en la zona media del flanco, y 600 µm como desgaste máximo.					
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción se presenta desprendimiento del recubrimiento y filos recrecidos.					

3.1.4.28. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E03 y E07 (40 minutos de mecanizado)

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
Datos Informativos					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem		B	
Fecha de ejecución					
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por		Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia				
Parámetros de torneado y lubricación					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)		Tiempo de mecanizado (min)
1473 - 235	147.3 - 0.1	0,4	0,8		40
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO ₂ +CO ₂ Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist ® Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO ₂	Ángulo de incidencia de CO ₂	Diámetro de la salida de CO ₂	
480	2	60	45°	1.5	
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO			LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
					
Desgaste máximo en el ancho del flanco VBb máx 277,65 um Desgaste promedio en el ancho del flanco VB 227,06 um			Desgaste máximo en el ancho del flanco VBb máx 170,48 um Desgaste promedio en el ancho del flanco VB 157,89 um		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta no supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 um en la zona media del flanco, y 600 um como desgaste máximo.					
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción y desprendimiento del recubrimiento.					

3.1.4.29. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E03 y E07 (45 minutos de mecanizado)

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
Datos Informativos					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem		B	
Fecha de ejecución					
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por		Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia				
Parámetros de torneado y lubricación					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)	Tiempo de mecanizado (min)	
1473 - 235	147.3 - 0.1	0,4	0,8	45	
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO ₂ +CO ₂ Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist® Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO ₂	Ángulo de incidencia de CO ₂	Diámetro de la salida de CO ₂	
480	2	60	45°	1.5	
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO			LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
					
Desgaste máximo en el ancho del flanco VBb máx 256,25 um Desgaste promedio en el ancho del flanco VB 233,69 um			Desgaste máximo en el ancho del flanco VBb máx 174,98 um Desgaste promedio en el ancho del flanco VB 165,57 um		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta no supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 um en la zona media del flanco, y 600 um como desgaste máximo.					
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción y desprendimiento del recubrimiento.					

3.1.4.30. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E03 y E07 (50 minutos de mecanizado)



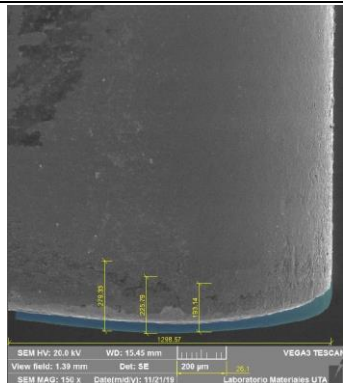
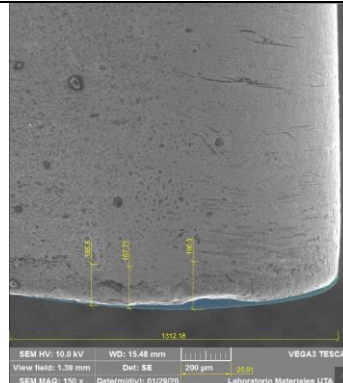
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
 					
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
Datos Informativos					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem		B	
Fecha de ejecución					
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por		Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia				
Parámetros de torneado y lubricación					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)	Tiempo de mecanizado (min)	
1473 - 235	147.3 - 0.1	0,4	0,8	50	
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación:	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO2+CO2 Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist ® Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO2	Ángulo de incidencia de CO2	Diámetro de la salida de CO2	
480	2	60	45°	1.5	
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO			LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
					
<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 279,33 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 239,77 um			<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 190,30 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 174,50 um		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta no supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 um en la zona media del flanco, y 600 um como desgaste máximo.					
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción y desprendimiento del recubrimiento.					

Tabla 20 Desgaste de flanco en función del tiempo E03 & E07

Tiempo de mecanizado	Desgaste de flanco VB	
	E03 235 m/min 0,1 mm/rev Seco	E07 235 m/min 0,1 mm/rev Cryo-MQL + 0,5% Nano TiO2
5	53,785	71,423
10	117,930	114,340
15	154,427	120,623
20	168,133	127,723
25	174,613	142,487
30	180,360	146,617
35	206,853	155,753
40	227,060	163,777
45	233,693	171,263
50	239,767	181,327

Fuente: Autores

El experimento E07 empieza con una mayor tasa de desgaste en el tiempo, que el experimento E03 ambos se estabilizan en el minuto 10 presentando valores similares de desgaste de flanco, en adelante el experimento E07 realizado con lubricación híbrida presenta un desgaste 26,7 % menor que el que se evaluó en seco.

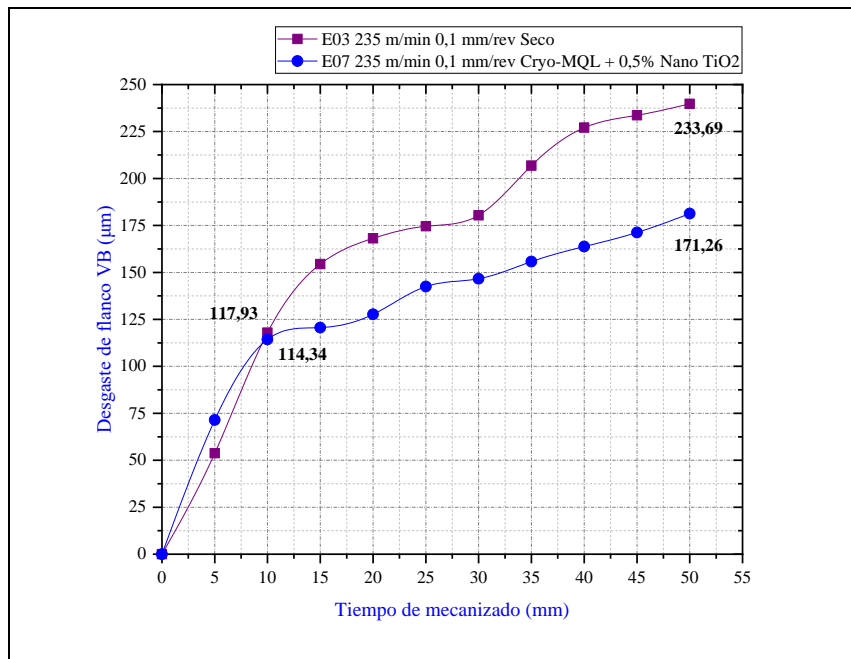


Fig. 56 Evolución del desgaste de flanco; comparativa (E03 & E07)

Fuente: Autores

Proyección del desgaste de flanco en el tiempo E03 & E07

En la figura 57 se representa la proyección del desgaste de flanco para ambos experimentos, donde se muestra que el experimento E03 alcanza el criterio de desgaste establecido por la norma ISO 3685 a los 112 minutos, mientras que el experimento E07 evaluado con el sistema de lubricación híbrida a los 461 minutos, demostrando que el sistema de lubricación CO₂ líquido +MQL-Nano TiO₂ incrementa la vida útil de la herramienta de corte, aun incrementando la velocidad de corte a 235 m/min.

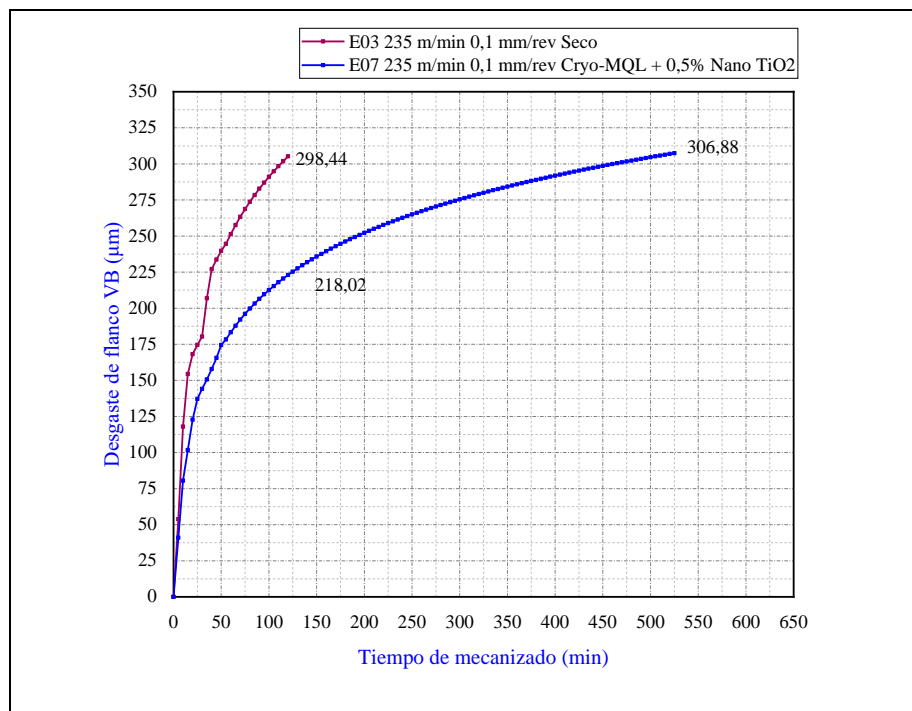


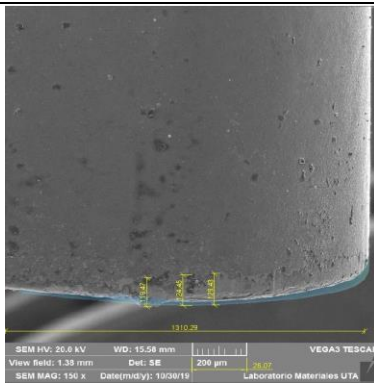
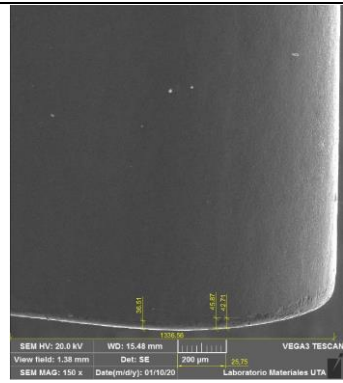




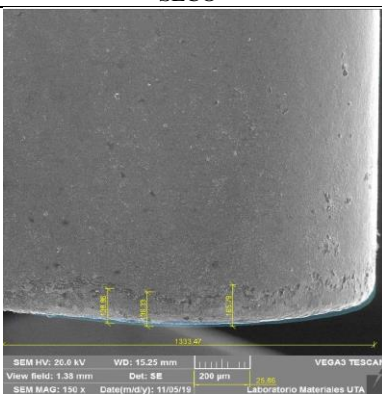
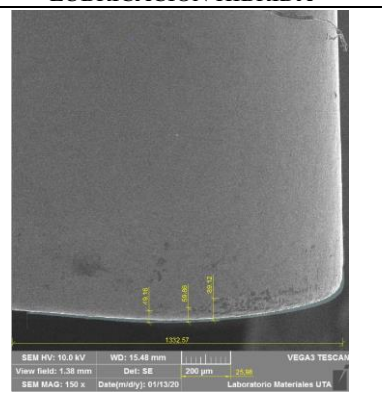
Fig. 57 Proyección del desgaste de flanco en el tiempo; comparativa (E03 & E07)

Fuente: Autores



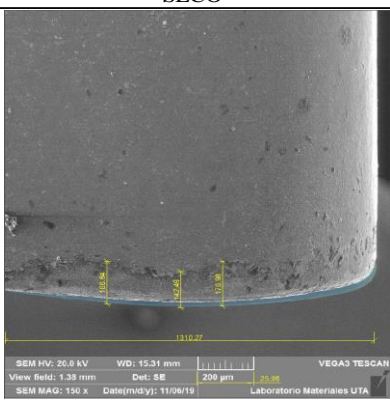
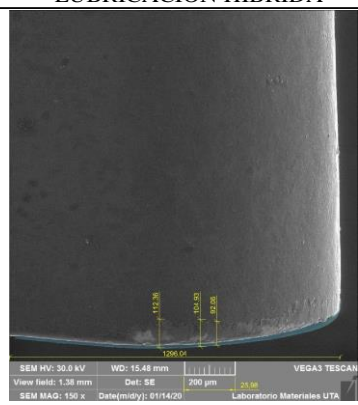
3.1.4.31. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E04 y E08 (5 minutos de mecanizado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
 					
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
Datos Informativos					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem		B	
Fecha de ejecución					
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por		Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia				
Parámetros de torneado y lubricación					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)		Tiempo de mecanizado (min)
1473 - 235	294.6 - 0.2	0,4	0,8		5
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO2+CO2 Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist @ Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO2	Ángulo de incidencia de CO2	Diámetro de la salida de CO2	
480	2	60	45°	1.5	
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO			LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
					
<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 129,43 um			<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 45,87 um		
<i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 124,45 um			<i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 41,70 um		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta no supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 um en la zona media del flanco, y 600 um como desgaste máximo.					
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción y desprendimiento del recubrimiento.					



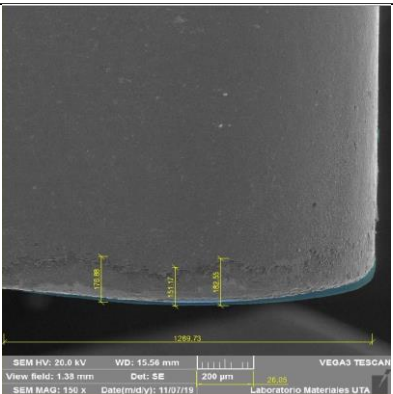
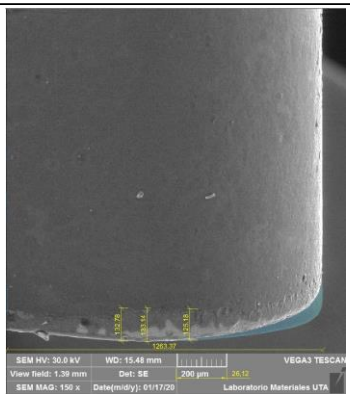
3.1.4.32. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E04 y E08 (10 minutos de mecanizado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
 					
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
Datos Informativos					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem		B	
Fecha de ejecución					
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por		Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia				
Parámetros de torneado y lubricación					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)	Tiempo de mecanizado (min)	
1473 - 235	294,6 - 0,2	0,4	0,8	10	
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación:	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO ₂ +CO ₂ Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist @ Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO ₂	Ángulo de incidencia de CO ₂	Diámetro de la salida de CO ₂	
480	2	60	45°	1.5	
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO			LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
					
<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 185,79 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 153,66 um			<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 89,12 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 66,05 um		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta no supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 um en la zona media del flanco, y 600 um como desgaste máximo.					
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción y desprendimiento del recubrimiento.					



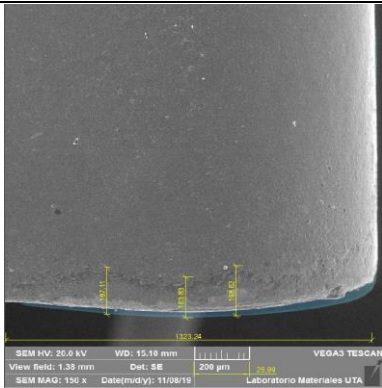
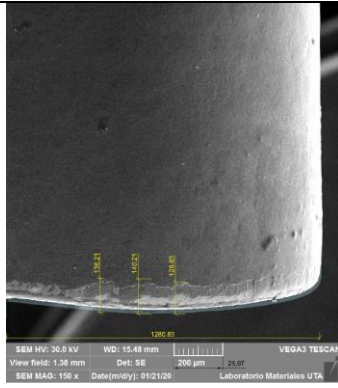
3.1.4.33. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E04 y E08 (15 minutos de mecanizado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
 					
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
Datos Informativos					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem		B	
Fecha de ejecución					
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por		Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia				
Parámetros de torneado y lubricación					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)		Tiempo de mecanizado (min)
1473 - 235	294.6 - 0.2	0,4	0,8		15
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO ₂ +CO ₂ Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist @ Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO ₂	Ángulo de incidencia de CO ₂	Diámetro de la salida de CO ₂	
480	2	60	45°	1.5	
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO			LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
					
<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 176,98 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 162,1 um			<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 112,36 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 103,12 um		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta no supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 um en la zona media del flanco, y 600 um como desgaste máximo.					
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción y desprendimiento del recubrimiento.					



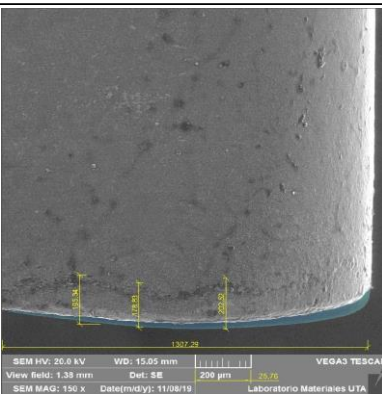
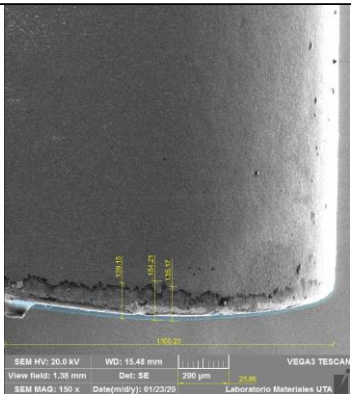
3.1.4.34. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E04 y E08 (20 minutos de mecanizado)

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
Datos Informativos					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem		B	
Fecha de ejecución					
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por		Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia				
Parámetros de torneado y lubricación					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)		Tiempo de mecanizado (min)
1473 - 235	294.6 - 0.2	0,4	0,8		20
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO2+CO2 Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist ® Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO2	Ángulo de incidencia de CO2	Diámetro de la salida de CO2	
480	2	60	45°	1.5	
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO			LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
					
<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 182,55 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 170,2 um			<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 133,14 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 130,37 um		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta no supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 um en la zona media del flanco, y 600 um como desgaste máximo.					
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción y desprendimiento del recubrimiento.					



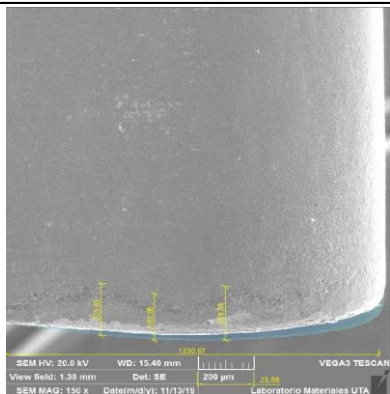
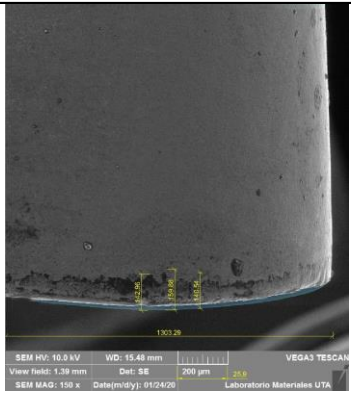
3.1.4.35. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E04 y E08 (25 minutos de mecanizado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
 					
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
Datos Informativos					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem		B	
Fecha de ejecución					
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por		Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia				
Parámetros de torneado y lubricación					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)	Tiempo de mecanizado (min)	
1473 - 235	294.6 - 0.2	0,4	0,8	25	
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO ₂ +CO ₂ Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist @ Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO ₂	Ángulo de incidencia de CO ₂	Diámetro de la salida de CO ₂	
480	2	60	45°	1.5	
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO			LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
					
<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 198,62 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 183,19 um			<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 136,21 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 135,08 um		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta no supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 um en la zona media del flanco, y 600 um como desgaste máximo.					
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción y desprendimiento del recubrimiento.					



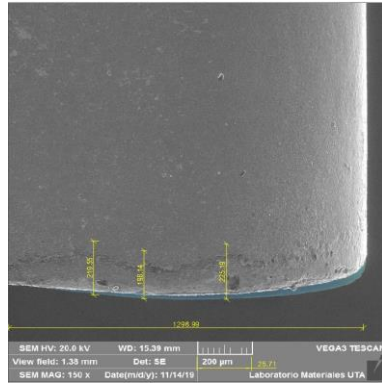
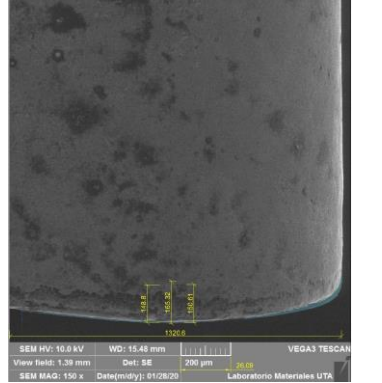
3.1.4.36. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E04 y E08 (30 minutos de mecanizado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
 					
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
Datos Informativos					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem		B	
Fecha de ejecución					
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por		Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia				
Parámetros de torneado y lubricación					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)		Tiempo de mecanizado (min)
1473 - 235	294.6 - 0.2	0,4	0,8		30
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO ₂ +CO ₂ Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist ® Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO ₂	Ángulo de incidencia de CO ₂	Diámetro de la salida de CO ₂	
480	2	60	45°	1.5	
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO			LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
					
<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 202,52 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 192,23 um			<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 139,15 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 142,84 um		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta no supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 um en la zona media del flanco, y 600 um como desgaste máximo.					
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción y desprendimiento del recubrimiento.					



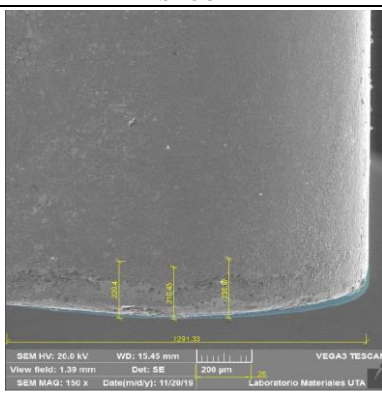
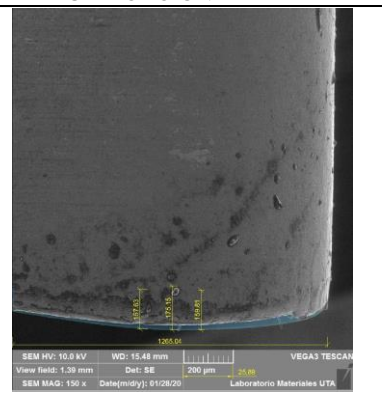
3.1.4.37. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E04 y E08 (35 minutos de mecanizado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
 					
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
Datos Informativos					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem		B	
Fecha de ejecución					
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por		Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia				
Parámetros de torneado y lubricación					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)		Tiempo de mecanizado (min)
1473 - 235	294.6 - 0.2	0,4	0,8		35
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO ₂ +CO ₂ Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist @ Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (m/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO ₂	Ángulo de incidencia de CO ₂	Diámetro de la salida de CO ₂	
480	2	60	45°	1.5	
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO			LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
					
<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 209,53 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 199,38 um			<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 159,88 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 147,79 um		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta no supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 um en la zona media del flanco, y 600 um como desgaste máximo.					
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción y desprendimiento del recubrimiento.					

3.1.4.38. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E04 y E08 (40 minutos de mecanizado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
 					
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
Datos Informativos					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem		B	
Fecha de ejecución					
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por		Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia				
Parámetros de torneado y lubricación					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)	Tiempo de mecanizado (min)	
1473 - 235	294.6 - 0.2	0,4	0,8	40	
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO ₂ +CO ₂ Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist ® Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO ₂	Ángulo de incidencia de CO ₂	Diámetro de la salida de CO ₂	
480	2	60	45°	1.5	
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO			LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
					
<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 225,19 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 213,63 um			<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 165,32 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 154,91 um		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta no supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 um en la zona media del flanco, y 600 um como desgaste máximo.					
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción y desprendimiento del recubrimiento.					

3.1.4.39. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E04 y E08 (45 minutos de mecanizado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
 					
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
Datos Informativos					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem		B	
Fecha de ejecución					
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por		Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia				
Parámetros de torneado y lubricación					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)		Tiempo de mecanizado (min)
1473 - 235	294.6 - 0.2	0,4	0,8		45
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación:	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO ₂ +CO ₂ Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist ® Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO ₂	Ángulo de incidencia de CO ₂	Diámetro de la salida de CO ₂	
480	2	60	45°	1.5	
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO			LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
					
<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 236,97 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 225,61 um			<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 175,15 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 164,20 um		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta no supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 um en la zona media del flanco, y 600 um como desgaste máximo.					
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción y desprendimiento del recubrimiento.					

3.1.4.40. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco, comparación de experimentos E04 y E08 (50 minutos de mecanizado)



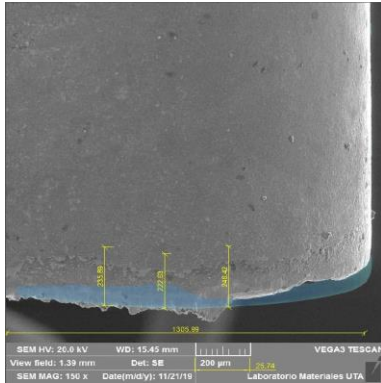
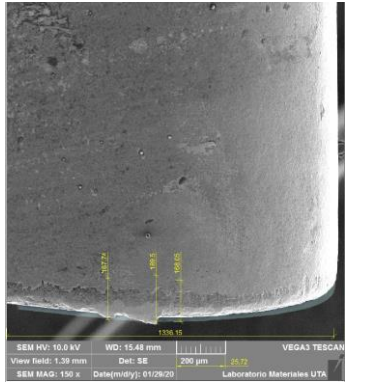
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REPORTE DE DESGASTE DEL FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
Datos Informativos					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem		B	
Fecha de ejecución					
Lugar de estudio	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
Elaborado por	Carranza Diego	Revisado por		Ing. Diego Núñez	
	Mayorga Leticia				
Parámetros de torneado y lubricación					
n (rpm) - Vc (m/min)	Vf (mm/min) - fn (mm/rev)	Ap (mm)	Radio de punta del inserto (mm)	Tiempo de mecanizado (min)	
1473 - 235	294.6 - 0.2	0,4	0,8	50	
Material:	Acero Inoxidable AISI 304		Material:	Acero Inoxidable AISI 304	
Sistema de lubricación	Seco		Sistema de lubricación:	MQL+0,5% NanoTiO ₂ +CO ₂ Criogénico	
Fluido lubricante:	No utilizado		Fluido lubricante:	Unist ® Coolube 2210.	
Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025		Herramienta de corte:	CNMG120408 MF 2025	
Tipo de operación:	Acabado		Tipo de operación:	Acabado	
Caudal lubricante (ml/h)	Presión aire comprimido (bar)	Presión CO ₂	Ángulo de incidencia de CO ₂	Diámetro de la salida de CO ₂	
480	2	60	45°	1.5	
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO			LUBRICACIÓN HÍBRIDA		
					
<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 246,42 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 234,98 um			<i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> VBb máx 189,50 um <i>Desgaste promedio en el ancho del flanco</i> VB 175,10 um		
Conclusión: El desgaste de flanco en el filo de la herramienta no supera el criterio establecido por la norma ISO 3685 para plaquitas de metal duro que corresponde a 300 um en la zona media del flanco, y 600 um como desgaste máximo.					
Observación: El desgaste es mayor en el inserto en el que no se emplea ningún sistema de lubricación, debido que mientras la herramienta corta el material existe mayor fricción se presenta desprendimiento del recubrimiento y filo recrecido.					

Tabla 21 Desgaste de flanco en función del tiempo E04 & E08

Tiempo de mecanizado	Desgaste de flanco VB	
	E04 235 m/min 0,2 mm/rev Seco	E08 235 m/min 0,2 mm/rev Cryo-MQL + 0,5% Nano TiO ₂
5	53,785	71,423
10	117,930	114,340
15	154,427	120,623
20	168,133	127,723
25	174,613	142,487
30	180,360	146,617
35	206,853	155,753
40	227,060	163,777
45	233,693	171,263
50	239,767	181,327

Fuente: Autores

El experimento E08 que fue evaluado con el sistema de lubricación híbrida a los 50 minutos presenta un desgaste de flanco 27,22% menor que el experimento E04, de la misma forma los valores tabulados en cada medición son menores a los registrados en el experimento que no usa ningún sistema de lubricación.

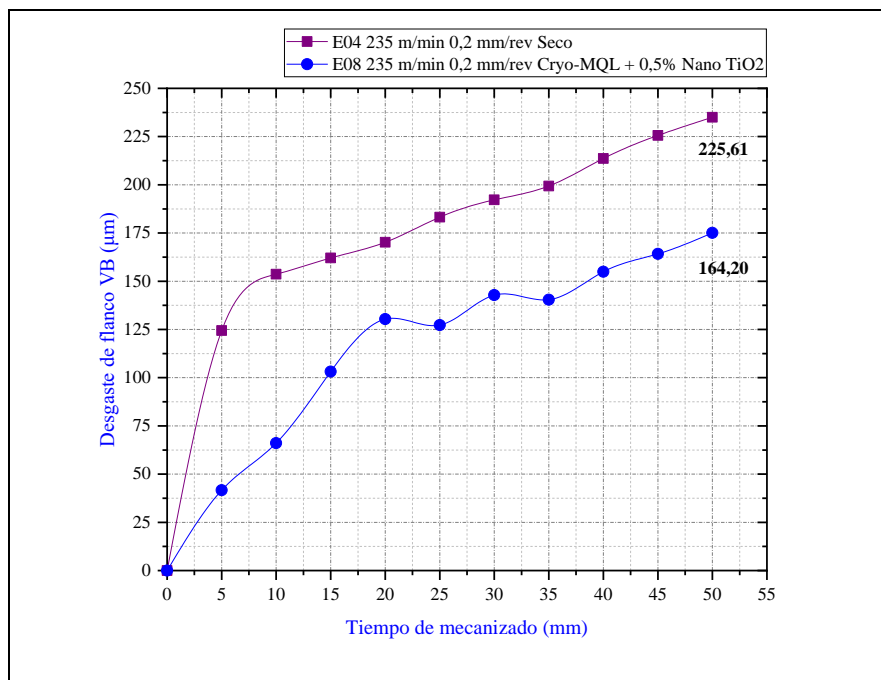


Fig. 58 Evolución del desgaste de flanco; comparativa (E04 & E08)

Fuente: Autores

Proyección del desgaste de flanco en el tiempo E04 & E08

En la figura 59 se representa la proyección del desgaste de flanco para ambos experimentos, donde se muestra que el experimento E04 alcanza el criterio de desgaste establecido por la norma ISO 3685 a los 78 minutos, mientras que el experimento E08 evaluado con el sistema de lubricación híbrida a los 447 minutos, demostrando que el sistema de lubricación CO₂ líquido +MQL-Nano TiO₂ incrementa la vida útil de la herramienta de corte, aun incrementando la velocidad de corte a 235 m/min y el avance a 0,2 mm/rev.

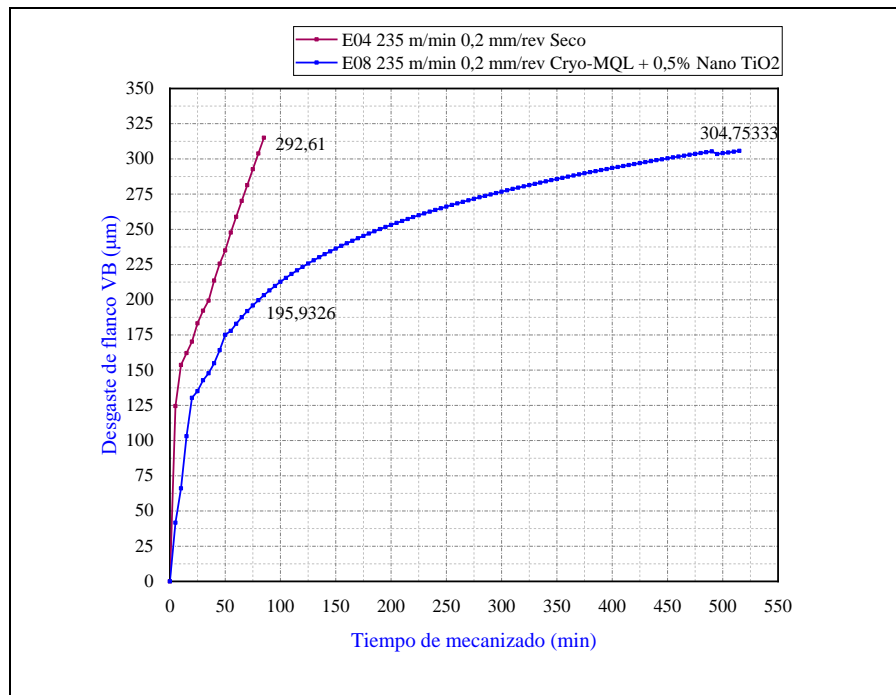


Fig. 59 Proyección del desgaste de flanco en el tiempo; comparativa (E04 & E08)

Fuente: Autores

3.1.5. Ecuación de Taylor

Para predecir la vida útil de la herramienta de corte se puede aplicar la ecuación simplificada, establecida en el ítem F.3.2. de la norma ISO 3685 que usa dos constantes (C y k) basadas en los parámetros de corte del proceso de torneado como se muestra en la ecuación 24.

$$VcT^{1/k} = C \quad (24)$$

Donde:

V_c Velocidad de corte.

T Tiempo de mecanizado.

C y k Constantes calculadas en función de las condiciones de corte del proceso.

Cálculo de la constante C

$$y = a + k(x - \bar{X}) \quad (25)$$

Cálculos de constantes para mecanizado en seco

Las constantes fueron calculadas en función de las ecuaciones establecidas en la ficha de reporte de la norma ISO 3685 (anexo F – tabla F1) en la que se establece las siguientes ecuaciones.

Constante k

$$k = \frac{\sum xy - \sum x(\sum y)/n}{(\sum x^2 - \sum x(\sum x)^2/n)} \quad (26)$$

Constante C

$$\log C = \bar{x} - \bar{y}/k \quad (27)$$

Tabla 22 Parámetros para el cálculo de las constantes C y k para mecanizado en seco

	Número de prueba	V_c (m/min)	t (min)	$X=\log V_c$	$Y=\log(t)$	XY	X^2	Y^2
Mecanizado en Seco	1,000	195,000	71,141	2,290	1,852	4,241	5,244	3,430
	2,000	235,000	86,974	2,371	1,939	4,598	5,622	3,761
	3,000	195,000	112,263	2,290	2,050	4,695	5,244	4,203
	4,000	235,000	78,291	2,371	1,894	4,490	5,622	3,586
Suma				9,322	7,735	18,025	21,732	14,981

Fuente: Autores

Tabla 23 Resultados, para las constantes c y k mecanizado en seco

$(\sum x)^2$	86,904
$\bar{X} = \sum x/n$	21,726
$\sum x * \sum y$	72,111
$(\sum x * \sum y)/n$	18,028
k	-0,427
$\bar{y} = \sum y/n$	1,934
$\bar{x} = \sum x/n$	2,331
Log C	6,856
C	7179824,222

Fuente: Autores

Tabla 24 Parámetros para el cálculo de las constantes C y k para mecanizado con lubricación híbrida

	Número de prueba	Vc (m/min)	t(min)	X=log Vc	Y=log(t)	XY	X ²	Y ²
CRYO MQL	1,000	195,000	486,130	2,290	2,687	6,153	5,244	7,219
	2,000	235,000	465,683	2,371	2,668	6,326	5,622	7,119
	3,000	195,000	461,046	2,290	2,664	6,100	5,244	7,096
	4,000	235,000	447,031	2,371	2,650	6,284	5,622	7,024
Suma				9,322	10,669	24,863	21,732	28,457

Fuente: Autores

Tabla 25 Resultados, para las constantes c y k mecanizado con lubricación híbrida

$(\sum x)^2$	86,904
$\bar{X} = \sum x/n$	21,726
$\sum x * \sum y$	99,458
$(\sum x * \sum y)/n$	24,864
k	-0,198
$\bar{y} = \sum y/n$	2,667
$\bar{x} = \sum x/n$	2,331
Log C	15,810
C	6,46E+15

Fuente: Autores

Ecuación de Taylor para mecanizado en seco

Reemplazando los valores obtenidos en la tabla 22 de 7179824,22 para C y 0,42732 para k en la ecuación... se obtiene el modelo matemático que define la vida útil en minutos de la herramienta de corte para mecanizado en seco.

$$V_c T_c^{\frac{1}{0,42732}} = 7179824,2$$

Ecuación de Taylor para mecanizado Cryo MQL

Al igual que en modelo matemático de mecanizado en seco se reemplazan los valores obtenidos en la tabla 24 de 6.4556×10^{15} para C y -0,1978749 para k en la ecuación... se obtiene el modelo matemático que define la vida útil en minutos de la herramienta de corte para mecanizado con lubricación híbrida.

$$V_c T_c^{\frac{1}{0,1978749}} = 6.4556 \times 10^{15}$$

Los modelos matemáticos descritos anteriormente permiten predecir la vida útil de las herramientas de corte evaluadas en seco y con el sistema de refrigeración híbrido CO2 líquido +MQL-Nano TiO2 despejando el tiempo de corte (Tc). En la tabla 25

se presentan los valores calculados de vida útil en minutos para ambos casos incrementando la velocidad de corte de 195 a 300 m/min en intervalos de 5 m/min.

Tabla 26 Tiempo de vida útil de la herramienta de corte en función de la velocidad de corte (comparativa, mecanizado en seco y con lubricación híbrida).

Velocidad de corte (Vc)	SECO	CRYO MQL
	Tiempo de corte (min)	Tiempo de corte (min)
195	89,367	473,422
200	88,405	471,056
205	87,477	468,760
210	86,581	466,530
215	85,715	464,363
220	84,877	462,256
225	84,066	460,205
230	83,280	458,208
235	82,518	456,262
240	81,779	454,365
245	81,062	452,515
250	80,365	450,710
255	79,688	448,947
260	79,029	447,225
265	78,389	445,543
270	77,765	443,898
275	77,158	442,289
280	76,566	440,715
285	75,989	439,174
290	75,426	437,665
295	74,877	436,187
300	74,341	434,739

Fuente: Autores

Conforme se incrementa la velocidad de corte se reduce el tiempo de vida útil de la herramienta de corte para ambos casos, para el modelo de mecanizado en seco a los 195 m/min se obtiene un tiempo de vida útil de 89,367 minutos y a los 300 m/min un tiempo de 74,341 minutos, el mecanizado con el sistema de lubricación híbrida registra una mejora del 81.1% en relación con el mecanizado en seco para las velocidades de corte recomendada (195 m/min) máxima (235 m/min) y la máxima planteada en los incrementos mostrados en la tabla 25.

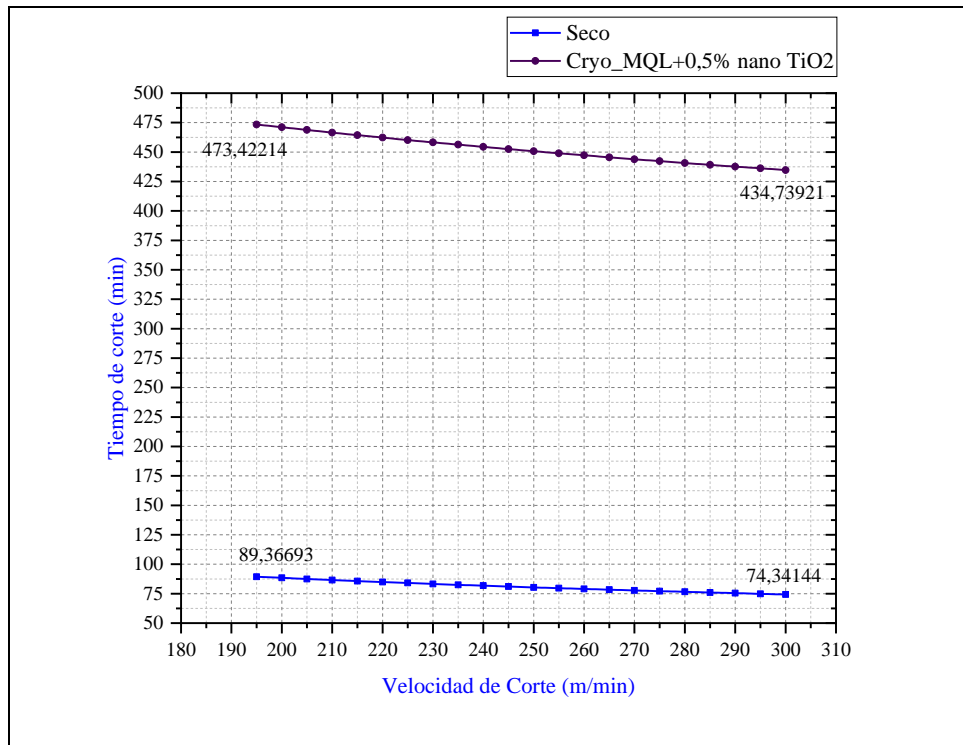


Fig. 60 Tiempo de vida útil de la herramienta de corte en función de la velocidad de corte (comparativa, mecanizado en seco y con lubricación híbrida).

Fuente: Autores

En la figura 60 la curva de color morado representa el comportamiento de la vida útil de la herramienta de torneado evaluada con el sistema híbrido de lubricación, mientras que en la curva de color azul la vida de la herramienta analizada en seco, conforme se incrementa la velocidad de corte. Ambas curvas son decrecientes respecto al eje y, lo cual evidencia que la vida útil se reduce cuando se incrementa la velocidad de corte para ambos casos, sin embargo, ambas curvas se encuentran notablemente distanciadas respecto a eje y ya que se evidencia una mejora del 81,1% haciendo uso del sistema CO₂ líquido +MQL-Nano TiO₂.

3.1.6. Tipo de viruta



Fig. 61 Viruta del proceso de mecanizado en seco

Fuente: Autores

El tipo de viruta que se obtiene del proceso de mecanizado es importante debido a que muestra la influencia de los parámetros de corte en el arranque de viruta. En el proceso de mecanizado en seco se obtuvieron virutas helicoidales planas y largas tal como se visualiza en la figura 61, además de tomar una coloración amarillenta por la afectación térmica del proceso.

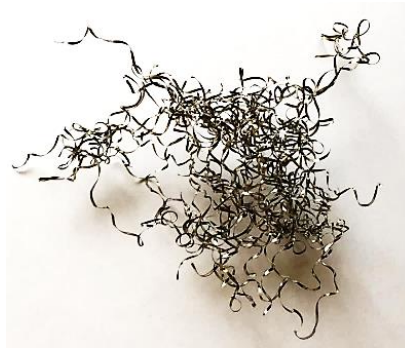


Fig. 62 Viruta del proceso de mecanizado con Cryo MQL

Fuente: Autores

En el proceso de mecanizado con lubricación híbrida Cryo MQL dio como resultado virutas en forma de cinta cortas sin coloración debido a que no existe una afectación térmica que haga que el arranque de viruta salga de manera intermitente.

3.1.7. Temperatura de mecanizado

La temperatura de mecanizado es un parámetro importante debido a que el acero cambia sus propiedades al estar sometido a temperaturas que superan los 700°C.



Fig. 63 Temperatura de mecanizado en seco

Fuente: Autores

Durante el proceso de mecanizado se usó una termocupla tipo K para identificar la temperatura de corte localizada en la zona de contacto de la herramienta de corte con el eje. En el proceso de mecanizado en seco se obtuvo una temperatura de 412

°C como se ve en la figura 63; mientras que en la figura 64 se muestra que la temperatura de corte es de -65 °C.



Fig. 64 Temperatura de mecanizado Cryo MQL

Fuente: Autores

3.1.8. Costos de mecanizado

3.1.8.1. Mecanizado en seco

Costo de la materia prima

Se utilizaron probetas de acero AISI 304 para cada experimento se usaron 2,6 kg de material en una hora de desbaste, el precio del kg es de \$3,00

Costo de la mano de obra

Se considera el proporcional del salario del operario del torno, en el sector de manufactura de la ciudad de Ambato, se estima un salario de \$650,00; de lo cual se obtiene el valor de \$4,10 de una hora.

Costo de lubricación

En el proceso de mecanizado en seco no se considera este rubro debido a que no se utiliza ningún tipo de fluido refrigerante.

Costo de utilización del torno

Este valor debe incluir el precio de depreciación de la máquina y de energía eléctrica que se utiliza, en términos generales, la Universidad Técnica de Ambato establece un valor de \$15,00 la utilización del torno por hora.

Costo de la herramienta de corte

Para el mecanizado de cada ensayo se utilizó uno de los filos de cada cuchilla, el precio de una cuchilla es de \$15; el valor proporcional por filo corresponde a \$3,75

Costo total

El costo total de una hora de mecanizado de 2,6 kg de acero inoxidable fue de \$30,60, en la figura 65 se muestra el detalle de cada parámetro, y el costo por kg es de \$11,75.



Fig. 65 Costos por kg del proceso de mecanizado en seco

Fuente: Autores

3.1.8.2. Mecanizado Cryo MQL

En este caso se considera adicional a los demás costos, el costo por lubricación ya que en estos experimentos se utilizaron varios insumos adicionales.

El precio de la recarga del CO₂ es de \$15,00 por 3 m³

Determinación de la cantidad total de CO₂ a utilizarse

$$CO_{2Total} = (\text{Flujo } CO_2 \text{ líquido} + \text{Flujo } CO_2 \text{ gas}) * \text{tiempo de mecanizado}$$

$$CO_{2Total} = (2,93 \times 10^{-4} + 4,14 \times 10^{-4}) \frac{m^3}{s} * 3600s$$

$$CO_{2Total} = 2,55 m^3$$

El precio del CO₂ es de \$12,75

El precio del aceite está determinado por el caudal de salida del sistema MQL de 480 ml/h, debido a que se considera el precio de una hora de trabajo, se utilizaron 480 ml con un valor de \$27,25

En este método de lubricación se utilizaron también nanopartículas de TiO₂ con una relación del 0,5% de concentración en función del peso del aceite, bajo esos parámetros se utilizaron 1,957 gramos; lo cual dio como resultado un valor de \$1,95

El costo total de lubricación es de \$41,95

Adicionado al valor del mecanizado en seco, se obtiene un costo total del mecanizado con Cryo MQL+ Nano TiO₂ es de \$72,60 por 2,6 kg de acero inoxidable; en la figura 66 se muestran los detalles especificados de los costos y el valor del mecanizado por kilogramo de \$27,90



Fig. 66 Costo por kg de mecanizado Cryo MQL + Nano TiO₂

Fuente: Autores

3.1.8.3. Relación del costo del mecanizado Cryo MQL + Nano TiO₂ con otros procesos.

Debido a que el proceso de mecanizado propuesto en este trabajo es muy completo, se pudo desglosar el costo que tiene el mecanizado MQL y el mecanizado MQL + Nano TiO₂ y mecanizado Cryo MQL como se aprecia en la figura 67; mientras que

para el mecanizado por inundación se consideraron los aspectos descritos en este punto.

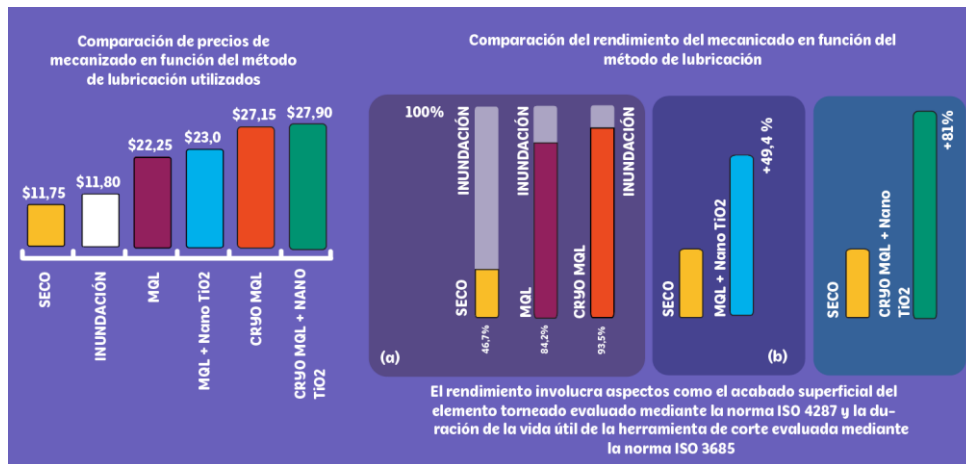


Fig. 67 Comparación de costos de mecanizado en relación con diferentes métodos de lubricación en base a otros estudios efectuados bajo condiciones similares (a) [7] (b) [20]

Fuente: Autores

En el método de inundación se tomó en consideración que cambio del refrigerante debe realizarse cada 6 meses; esto brinda 960 horas de trabajo en el cual los 114 litros con los que se llena el tanque recirculan en cada mecanizado. En la bibliografía considerada al principio de este trabajo experimental se describe que el 30% [1] del refrigerante se pierde debido a desperdicios, evaporación del fluido y fugas, tomando en cuenta este valor adicional que se recarga en el transcurso de ese tiempo, se consideran 150 litros, de estos el 7% corresponde al aceite soluble, esto corresponde a un valor de 10,5 litros; el valor proporcional a una hora de uso del método de inundación es de 0,0109375 litros. En el mercado se encuentra el valor de \$6,50 el litro de aceite soluble, esto da un costo de 0,071 dólares, el valor total del mecanizado es de \$30,70 por 2,6 kg de acero inoxidable, el valor por kg es de \$11,80.

En la figura 67 se visualiza una gráfica con el rendimiento del mecanizado, según los resultados de este estudio y junto con la bibliografía consultada, se obtuvo que el mecanizado con mayor rendimiento en función del acabado superficial del elemento mecanizado y la duración de la herramienta de corte es el método Cryo MQL + Nano TiO₂ y el mecanizado Cryo MQL; mientras que el mecanizado con menor rendimiento es usando un método sin lubricación.

A pesar de que el costo de mecanizado en seco y por el método de inundación son los más bajos en comparación de otros métodos, en el torneado de elementos con materiales de poca maquinabilidad se presentan condiciones difíciles en los parámetros de corte, lo cual ocasiona que se deban modificar para alcanzar un mejor acabado superficial y que en la zona de corte no aumenten las fuerzas de corte y el gasto energético, como consecuencia de esto, el proceso de torneado dura más tiempo y la vida útil de la herramienta de corte se reduce, en cambio, métodos más efectivos de lubricación como el Cryo MQL + Nano TiO₂ permiten reducir el tiempo de mecanizado y optimizar la vida útil de las herramientas de corte; además de esto, estos materiales son utilizados para prestaciones mecánicas elevadas por lo que requieren de un buen acabado superficial, en este sentido, el método de lubricación propuesto brinda mejores resultados y un valor añadido en la producción de elementos torneados.

Otra dificultad que presentan los métodos de lubricación más económicos es el proceso adicional que debe realizarse para la eliminación de residuos de manera que no se contamine el medio ambiente, además de esto, periódicamente se debe realizar pruebas para determinar que el fluido de corte se encuentre en condiciones óptimas y así evitar enfermedades ocupacionales. Al utilizar el método de inundación los operarios deben tener más cuidado al manipular los elementos torneados para evitar infecciones cutáneas y respiratorias. El método Cryo MQL + Nano TiO₂ elimina estos subprocesos debido a que se utiliza un aceite biodegradable, las nano partículas son biocompatibles y el CO₂ es obtenido de un proceso primario.

3.2. Verificación de la hipótesis

Para la verificación de la hipótesis se usará el modelo “T Student” que permite conocer si existe o no diferencias significativas entre dos variables (dos grupos de datos); por lo tanto, se puede verificar si se cumple el enunciado de la tesis o no.

Hipótesis:

¿El método de lubricación híbrida CO₂ + Nano TiO₂ aplicado en el proceso de torneado permitirá mejorar el acabado superficial del acero inoxidable AISI 304 y aumentará la vida útil de la herramienta de corte?

Variable dependiente:

Acabado superficial del acero inoxidable AISI 304

Vida útil de la herramienta de corte.

Variable independiente:

Método de lubricación híbrida CO₂ + Nano TiO₂ en el proceso de torneado.

Hipótesis nula Ho:

El método de lubricación híbrida CO₂ + Nano TiO₂ aplicado en el proceso de torneado no mejora el acabado superficial del acero inoxidable AISI 304; es decir, mantiene la calidad superficial en las mismas condiciones de corte en seco.

Hipótesis alternativa Ha:

El método de lubricación híbrida CO₂ + Nano TiO₂ aplicado en el proceso de torneado mejora el acabado superficial del acero inoxidable AISI 304; es decir, la calidad superficial no es igual que en las condiciones de corte en seco.

Modelo matemático:

$$H_0 = Ra_{seco} = Ra_{Cryo\ MQL}; H_a = Ra_{seco} \neq Ra_{Cryo\ MQL}$$

Determinación del nivel de significancia:

El nivel de confianza seleccionado es del 95%; por lo tanto, el nivel de significancia es del 5% que corresponde a un valor de probabilidad P de 0,05

Grados de libertad

$$v = n_1 + n_2 - 2 \quad (28)$$

$$v = 12 + 12 - 2$$

$$v = 22$$

Donde:

v es el número de grados de libertad

n_1 es el número de muestra del experimento en seco

n_2 es el número de muestra del experimento con Cryo MQL

Tabla 27 Distribución t Student [40]

	0.50	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.005	0.002	0.001
1	1.000	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	127.321	318.309	636.619
2	0.816	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	14.089	22.327	31.599
3	0.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	7.453	10.215	12.924
4	0.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	5.598	7.173	8.610
5	0.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	4.773	5.893	6.869
6	0.718	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	4.317	5.208	5.959
7	0.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.029	4.785	5.408
8	0.706	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	3.833	4.501	5.041
9	0.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	3.690	4.297	4.781
10	0.700	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	3.581	4.144	4.587
11	0.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	3.497	4.025	4.437
12	0.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.428	3.930	4.318
13	0.694	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.372	3.852	4.221
14	0.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.326	3.787	4.140
15	0.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.286	3.733	4.073
16	0.690	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.252	3.686	4.015
17	0.689	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.222	3.646	3.965
18	0.688	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.197	3.610	3.922
19	0.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.174	3.579	3.883
20	0.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.153	3.552	3.850
21	0.686	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.135	3.527	3.819
22	0.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.119	3.505	3.792
23	0.685	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.104	3.485	3.768
24	0.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.091	3.467	3.745
25	0.684	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.078	3.450	3.725

De la tabla 26 se obtuvo el valor de t tabulado que corresponde a 2,074 ingresando con los grados de libertad, y el nivel de significancia P.

Cálculo de la distribución t del sistema en seco y lubricación Cryo MQL

Tabla 28 Valores estadísticos para la distribución calculada

N°	Seco (x)	Cryo MQL (y)
1	0,6086	0,4748
2	0,7384	0,5482
3	0,5452	0,4642
4	1,4016	0,7198
5	1,4044	0,9092
6	1,0278	0,8444
7	0,7708	1,057

8	0,8158	0,694
9	0,816	0,7492
10	1,7826	0,864
11	1,9414	0,8852
12	1,8988	0,8806
Media μ	1,146	0,758

Fuente: Autores

$$S^2 = \frac{\Sigma(x - \mu_x)^2 + \Sigma(y - \mu_y)^2}{v} \quad (29)$$

Donde:

x es un valor del conjunto de datos que corresponden a la rugosidad medida en el proceso de mecanizado en seco

y es un valor del conjunto de datos que corresponde a la rugosidad medida en el proceso de mecanizado con Cryo MQL

v son los grados de libertad

S^2 es la varianza

$$S^2 = \frac{2,925 + 0,378}{22}$$

$$S^2 = 0,15$$

Para obtener la distribución t se aplica la siguiente fórmula

$$t = \frac{\mu_x - \mu_y}{\sqrt{\frac{S^2}{n_1} + \frac{S^2}{n_2}}} \quad (30)$$

Donde:

t es el valor de la distribución Student

$$t = \frac{1,146 - 0,758}{\sqrt{\frac{0,15}{22} + \frac{0,15}{22}}}$$

$$t = 3,32$$

$$t_{calculado} = 3,32 > t_{tabulado} = 2,074$$

El resultado de t calculado es mayor que el t encontrado en la tabla; por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa que indica que:

El método de lubricación híbrida CO₂ + Nano TiO₂ aplicado en el proceso de torneado mejora el acabado superficial del acero inoxidable AISI 304 ya que la calidad superficial no es igual que en las condiciones de corte en seco.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Los procesos no convencionales de lubricación y refrigeración en mecanizado permiten optimizar recursos y reducir la contaminación al medio ambiente ya que se basan principalmente en sistemas de mínima cantidad de lubricante, haciendo uso de aceites orgánicos biodegradables y gases criogénicos como el dióxido de carbono y el nitrógeno, estos gases componentes de la atmósfera, por lo cual no es necesario utilizar métodos de tratamiento para ser desechados como es el caso de los aceites solubles o emulsificables.

El acero inoxidable AISI 304 es un material difícil de mecanizar, esto hace necesario contar con herramientas especialmente diseñadas para este tipo de trabajos, las herramientas de carburo de tungsteno o metal duro tienen buenas propiedades para el mecanizado de AISI 304; la geometría de la herramienta desempeña un papel muy importante debido a que de ella depende la profundidad de corte y la calidad superficial de los elementos mecanizados. En la presente investigación la herramienta seleccionada fue un inserto CNMG 120408 2025 de Sandvik, que por su geometría permite efectuar sin problemas operaciones de refrentado y cilindrado tanto en centros de mecanizado CNC como en tornos convencionales, por otro lado, el radio de la herramienta de 0.8 mm permite una profundidad de corte mayor y, por ende, se alcanza un mejor acabado superficial.

El sistema de distribución y mezcla de CO₂ permite obtener un fluido criogénico a -65 °C a un caudal de 2542.5 ml/h, se direcciona a 45° a la salida del sistema MQL que cuenta con un caudal de 480 ml/h, esto permite una mayor refrigeración ya que baja drásticamente la temperatura generada por la fricción y a la vez lubrica con aceite biodegradable y nanopartículas de dióxido de titanio la de la zona de contacto pieza herramienta, todo este sistema eleva la calidad superficial del elemento torneado y reduce el desgaste de la herramienta de corte.

La rugosidad superficial es más baja en los experimentos en los que se empleó el sistema híbrido de lubricación-refrigeración CO₂ Criogénico + MQL + 0,5%

NanoTiO₂ debido a que la geometría de la herramienta se mantiene bajo sus condiciones iniciales durante más tiempo a diferencia del mecanizado en seco; no existen temperaturas que comprometan la superficie del elemento; existe una buena lubricación del par tribológico y se presenta una mejor eliminación del material residual lo que evita adhesiones que comprometen la calidad superficial del elemento mecanizado.

La mejor calidad superficial Ra representa el valor promedio de los picos de rugosidad efectuados por el proceso de mecanizado, el menor valor que se obtuvo en los ensayos fue de 0,496 μm correspondiente al experimento ejecutado bajo las condiciones de una velocidad de corte de 195 m/min, con un avance de 0,1 mm/rev con el método de lubricación Cryo – MQL +0,5% Nano TiO₂. Esta calidad superficial equivale a un valor de N5 – N6 de un acabado super fino característicos de procesos como torneado y rectificado; mejorando así la calidad superficial del elemento mecanizado gracias a las condiciones de lubricación.

La rugosidad Rz representa el valor promedio de 10 puntos tomados con la suma del pico más alto de rugosidad y el valle más profundo. El valor más bajo que se obtuvo en los ensayos corresponde a 3,012 μm del mecanizado efectuado bajo las condiciones de lubricación Cryo – MQL +0,5% Nano TiO₂ a 195 m/min con un avance de 0,1 mm/rev.

El desgaste de flanco es menor en los insertos evaluados con el sistema CO₂ Criogénico + MQL + 0,5% NanoTiO₂ según el análisis estadístico realizado en esta investigación se presenta una vida útil mayor aproximadamente de 5 a 1 o el 81% mayor que en los insertos evaluados en seco, lo que demuestra que el sistema de lubricación-refrigeración híbrida aumenta la vida útil de los insertos.

Mediante microscopía electrónica de barrido se observó que en mecanizado en seco se presentan mecanismos de desgaste como desprendimiento de recubrimiento, filos recrecidos y deformación plástica, mientras que el proceso en el que se usó el sistema híbrido de lubricación y refrigeración solamente se presenta un leve desprendimiento de recubrimiento mucho menor que en los insertos evaluados en seco.

La viruta resultante del proceso de cilindrado exterior en seco resultó ser helicoidal, plana y continua, dúctil y con coloración amarillenta; mientras que la obtenida en los experimentos evaluados con el sistema híbrido de refrigeración y lubricación fue corta y sin coloración, lo que demuestra que las fuerzas y temperaturas de corte se bajaron haciendo uso del sistema planteado.

La temperatura medida en la zona de contacto pieza - herramienta al momento de realizar el corte en seco fue de 412° C, mientras que con el sistema de refrigeración criogénica y lubricación fue de -65°C lo cual evita notablemente la deformación plástica en el flanco de los insertos.

Según el análisis realizado con la ecuación de Taylor planteada en la norma ISO 3685, la velocidad de corte influye en la vida útil de los insertos ya que a mayor velocidad de corte se presenta un menor tiempo de vida útil tanto en mecanizado en seco como en lubricación híbrida.

Los mejores resultados tanto de desgaste de flanco como de calidad superficial se obtuvieron a una velocidad de corte de 235 m/min, un avance de 0,1 mm/rev, profundidad de corte de 0,4 mm, y utilizando el sistema híbrido CO₂ Criogénico + MQL + 0,5% NanoTiO₂ como método de refrigeración y lubricación.

El mecanizado de materiales de baja maquinabilidad presenta condiciones que dificultan el proceso de torneado, esto ocasiona que el tiempo de mecanizado se extienda y las herramientas de corte disminuyan su tiempo de vida útil, al implementar métodos de lubricación más efectivos se puede reducir los costos de estos procesos además de brindar un mejor acabado superficial en los elementos.

En la verificación de la hipótesis se acepta la hipótesis alternativa, que indica que el método de lubricación híbrida CO₂ + Nano TiO₂ aplicado en el proceso de torneado mejora el acabado superficial del acero inoxidable AISI 304 ya que la calidad superficial no es igual que en las condiciones de corte en seco. La vida útil de la herramienta de corte también mejoró considerablemente, se desgastó el inserto hasta alcanzar el valor asignado por la norma ISO 3685 de VB 300 μm; al cumplir con este parámetro dio como resultado que la herramienta de corte sin lubricación se desgastó más rápido; mientras que la herramienta de corte bajo lubricación híbrida no alcanzó al criterio de desgaste designado por normativa, lo que significa

que bajo estas condiciones de lubricación la herramienta de corte aumenta su tiempo de vida útil.

4.2.Recomendaciones

Antes de realizar la medición del desgaste de flanco en el microscopio electrónico se deben limpiar los insertos de modo que no quede ningún residuo que afecte la observación y medición en las zonas planteadas por la norma ISO 3685.

El palpador del rugosímetro debe situarse 90 grados respecto a la superficie cilíndrica del eje a analizar, para obtener una medida más confiable tanto de rugosidad Ra como de Rz.

Antes de efectuar cada experimento, verificar la sujeción del eje en el torno tanto en el mandril como en el contrapunto para reducir las vibraciones que pueden afectar el acabado superficial y acortar significativamente la vida útil del inserto debido a que se producen golpes por el desbalance.

Utilizar el equipo de protección personal como gafas, protección auditiva y guantes gruesos al efectuar los experimentos ya que existe exposición al ruido, proyección de partículas y la viruta resultante puede ser muy filosa y causar cortes profundos en la piel.

Etiquetar la cara y filo de los insertos antes de comenzar las mediciones en el microscopio electrónico de barrido para llevar un registro confiable de cada análisis en cada combinación de parámetros, así como también del tiempo de mecanizado en cada experimento.

Para poner en marcha el sistema criogénico es necesario que se presurice, con CO₂ gaseoso antes de abrir la válvula de CO₂ líquido, ya que este último se encuentra a temperaturas muy bajas y al salir bruscamente sin presurización genera obstrucción en los conductos por formación de hielo seco.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Sanchez, I. Pombo, R. Alberdi, B. Izquierdo, N. Ortega, S. Plaza y J. Martinez-Toledano, «Machining evaluation of a hybrid MQL-CO2 grinding technology,» *Journal of Cleaner Production*, vol. I, nº 18, pp. 1840 - 1849, 2010.
- [2] M. Sampaio, Á. Rocha, C. Henning, Torres Ricardo y F. Lacerda , «Influence of minimum quantity of lubrication (MQL) when turning hardened SAE 1045 steel: a comparison with dry machining,» *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, pp. 959 - 968, 2018.
- [3] X. Ji, B. Li, X. Zhang y S. Liang, «The Effects of Minimum Quantity Lubrication (MQL) on Machining Force, Temperature, and Residual Stress,» *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, vol. 15, nº 11, pp. 2443 - 2451, 2014.
- [4] D. Núñez, B. Núñez, H. Vaca y M. Ureña, «Influencia del sistema de mínima cantidad de lubricante (MQL) en la vida de las herramientas de corte de metal duro en el fresado del acero AISI 1018,» *Enfoque UTE*, vol. 8, nº 2, pp. 44 - 55, 2017.
- [5] S. Yuan, X. Hou , L. Wang y B. Chen, *Tribology Letters* , vol. 66, pp. 106 (1 - 10), 2018.
- [6] N. Tapoglou, M. Aceves, I. Cook y C. Taylor, «Investigation of the influence of CO2 cryogenic coolant application on tool wear,» *Procedia CIRP*, vol. 63, pp. 745 - 749, 2017.
- [7] O. Pereira, A. Rodríguez , J. Barreiro , A. Fernández y L. López de Lacalle, «Nozzle Design for Combined Use of MQL and Cryogenic Gas in Machining,» *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology* , vol. 4, nº 1, pp. 87 - 95, 2017.

- [8] Y. R. Gutierrez Ávila y K. F. López Plata, «Estudio de rugosidad en maquinado por el proceso de torneado en CLIMET LTDA. Basado en las normas ISO de rugosidad.,» Universidad Autónoma del Caribe., Barranquilla, 2014.
- [9] L. W. Hernandez Gonzalez y A. M. Quesada Estrada, «Fluidos de Corte, Consecuencias y Perspectivas,» Ciencias Holguín, La Habana, 2002.
- [10] M. A. Khan y N. R. Dhar, «Effects of minimum quantity lubrication on turning aisi 9310 alloy steel using vegetable oil-based,» Journal of Materials Processing Technology, Bangladesh, 2009.
- [11] L. W. Hernandez, R. Pérez Rodriguez y P. Zambrano Robledo, «Estudio del desgaste del flanco de carburos recubiertos y cermet durante el torneado de alta velocidad en seco del acero AISI 1045,» Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, 2011.
- [12] M. A. Vargas Urbano , Y. H. Ochoa Muñoz y Y. Ortegón Fernandez, «Nanopartículas de TiO₂ fase anatasa sinterizadas por métodos químicos,» Universidad del Cauca, Popayán, 2011.
- [13] L. Sidorovas , F. Ron y I. Ramones, «Estudio de la vida útil de una herramienta de corte sometida a un tratamiento criogénico en el mecanizado de piezas de acero AISI 1045,» *Revista Ingeniería UC, Universidad de Carabobo*, vol. 25, n° 3, p. 2, 2018.
- [14] T. L. Group, «Industrial Gases, Carbon Dioxide,» 2019. [En línea]. Available: https://www.linde-gas.com/en/products_and_supply/gases_atmospheric/carbon_dioxide.html. [Último acceso: 07 Junio 2019].
- [15] M. Correa, J. Ramirez, J. R. Alique y C. A. Rodriguez, «Factores que afectan el acabado superficial en los procesos de mecanizado: Técnicas de análisis y modelos,» *Instituto de automática industrial España*, vol. 1, n° 1, 2012.

- [16] F. Gonzalez y M. Meseguer, Planificación de procesos de mecanizado, ProQuest Ebook Central: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia, 2015.
- [17] R. Castillo, Cálculo de costes en procesos de mecanizado por arranque de viruta: mecanizado por arranque de viruta (UFO991), ProQuest Ebook Central: IC Editorial, 2012.
- [18] F. Tornero, Mecanizado por arranque de viruta: MF0091_2, ProQuest Ebook Central: Cano Pina, 2017.
- [19] Linde, *Consejo de Seguridad - Trabajando con Dióxido de Carbono CO2*, Valencia: Abelló Linde, 2012.
- [20] C. Morales, Efecto del nanolubricante (aceite lubricante + TiO₂) en el acabado superficial del torneado del acero inoxidable AISI 304, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2017.
- [21] M. J. García Bermejo, Manual de auxiliar de laboratorio, Sevilla: MAD, S.L., 2003.
- [22] T.-. L. Químico, «Agitador Magnético,» [En línea]. Available: <https://www.tplaboratorioquimico.com/laboratorio-quimico/materiales-e-instrumentos-de-un-laboratorio-quimico/agitador-magnetico.html>. [Último acceso: 08 Octubre 2019].
- [23] N. Larburu, Máquinas Prontuario - Técnicas, Máquinas, Herramientas, Madrid: Paraninfo S.A., 1990.
- [24] M. Correa, M. Ramírez, J. Alique y C. Rodríguez , «Factores que afectan el acabado superficial en los procesos de mecanizado: técnicas de análisis y modelos.,» de *XXV Jornadas de Automática*, Ciudad Real, 2004.
- [25] R. Leach, The measurement of surface texture using stylus instruments, Teddington: National Physical Laboratory, 2001.

- [26] ISO 4287:1997, Geometrical Product Specifications, Genève: International Organization for Standardization, 1997.
- [27] L. Hernández, R. Pérez, L. Dumitrescu, P. Zambrano y M. Guerrero, «Efecto del volumen de metal cortado y de la velocidad de corte en el desgaste de la herramienta durante el torneado de alta velocidad del acero AISI 1045,» *Ingeniería y Desarrollo*, vol. 29, nº 1, pp. 61 - 83, 2010.
- [28] F. Trujillo, Análisis paramétrico del mecanizado en seco de la aleación UNS A97075, Málaga: Universidad de Málaga, 2013.
- [29] Sandvik Coromant, «Sandvik Coromant,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/materials/pages/wear-on-cutting-edges.aspx>. [Último acceso: 12 Octubre 2019].
- [30] ISO, ISO 3685 Tool-life testing with single-point turning tools, Switzerland: ISO, 1993.
- [31] Voestalpine, «Böler Antinist 304L,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.bohlerperu.com › media › ANTINIT 304L>. [Último acceso: 09 Octubre 2019].
- [32] Sandvik, «Sandvik Coromant,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/products/Pages/productdetails.aspx?c=CNMG%2012%2004%2008-MF%20%20%202025>. [Último acceso: 08 Octubre 2019].
- [33] Unist, «Coolube 2210 Data Sheet,» 2018. [En línea]. Available: <https://unist.com/solutions/lubricants/coolube-2210.html>. [Último acceso: 08 Octubre 2019].
- [34] Unilok, «SSP,» Abril 2018. [En línea]. Available: <https://www.my-ssp-usa.com/products/fittings/tube-fittings/instrumentation/unilok>. [Último acceso: 22 Enero 2020].
- [35] Wordpress, «Sistemas neumáticos,» Octubre 2017. [En línea]. Available: <https://sistemasneumaticos.wordpress.com/estudio-funcional-de-las->

valvulas-distribuidoras/valvulas-antirretorno/. [Último acceso: 27 Febrero 2020].

- [36] R. Mott, Mecánica de fluidos, México: Pearson Educación, 2006.
- [37] J. D'Adamo, A. Gronskis y S. Juskoff, «<https://sites.google.com/site/tcmfiuba/>,» 2018. [En línea]. Available: <http://materias.fi.uba.ar/6731/Tablas/Tabla10.pdf>.
- [38] Nitrox, «Hoja de datos de seguridad del material: Dióxido de Carbono,» Nitrox, Valencia, 2007.
- [39] Swagelok, «Tubo de acero inoxidable sin soldadura y Sistemas de soporte para tubo,» 06 2019. [En línea]. Available: <https://www.swagelok.com/downloads/webcatalogs/es/MS-01-181.pdf>.
- [40] C. Martínez, Estadística y muestreo, Bogotá: ECOE Ediciones, 2012.
- [41] Sandvik Coromant, «www.sandvik.coromant.com,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/products/pages/turning-inserts-grades.aspx>.

ANEXOS

ANEXO 1

Diagrama del sistema de mezcla y distribución de CO2

ANEXO 2

Diagrama de control

ANEXO 3

Selección de las electroválvulas.

		VZWD	L	M22C	M	G18	15	V	2AP4	40	R1
Tipo		VZWD									
Electroválvula, accionamiento directo											
Tipo de válvula de vías		L									
Válvula con conexiones roscadas											
Función de válvula		M22C									
Válvula de 2/2 vías, normalmente cerrada, reposición por muelle											
Tipo de reposición		M									
Muelle mecánico											
Conexión de la válvula		G18									
Rosca G 1/8											
G14											
Rosca G 1/4											
Diámetro nominal		10	1,0 mm								
		15	1,5 mm								
		20	2,0 mm								
		25	2,5 mm								
		30	3,0 mm								
		40	4,0 mm								
		50	5,0 mm								
		60	6,0 mm								
Juntas		V	FPM								
Tensión nominal de funcionamiento		1	24 V DC								
		2A	110 V AC/50-60 Hz								
		3A	230 V AC/50-60 Hz								
Conexión eléctrica		P4	Conector tipo zócalo de 3 contactos								
Presión del fluido		4	máx. 4 bar								
		5	máx. 5 bar								
		8	máx. 8 bar								
		15	máx. 15 bar								
		22	máx. 22 bar								
		30	máx. 30 bar								
		40	máx. 40 bar								
		50	máx. 50 bar								
		85	máx. 85 bar								
		90	máx. 90 bar								
Protección contra corrosión		-	Latón								
		R1	Acero inoxidable								

Función



- Caudal Kv
0,06 ... 0,16 m³/h



- Rosca de conexión
G 1/4, G 1/8

Datos técnicos generales		1,0	1,5	2,0	2,5
Diámetro nominal DN		1,0	1,5	2,0	2,5
Función de válvula		2/2 monoestable normalmente cerrada			
Construcción		Válvula de asiento de accionamiento directo			
Tipo de fijación		Montaje en línea			
Tipo de accionamiento		Eléctrico			
Tipo de reposición		Muelle mecánico			
Sentido del flujo		Irreversible			
Tipo de mando		Directa			
Accionamiento manual auxiliar		No			
Posición de montaje		Indistinta			
Tipo de junta		Por junta de material sintético			
Viscosidad máxima [mm ² /s]		22			
Grado de protección		IP65			

Condiciones de funcionamiento y del entorno		1,0	1,5	2,0	2,5
Diámetro nominal DN		1,0	1,5	2,0	2,5
Caudal nominal [l/min]		60	95	140	170
Caudal Kv [m ³ /h]		0,06	0,09	0,13	0,16
Presión nominal PN en la válvula		50			
Fluido		Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4] Gases inertes Líquidos neutrales Agua Aceite mineral Otros medios bajo consulta			
Diferencia de presión [bar]		0			
Temperatura ambiente [°C]		-10 ... +35 °C			
Temperatura del fluido [°C]		-10 ... +80 °C			

Datos eléctricos		24 V DC	110 V AC	230 V AC
Tensión de funcionamiento		24 V DC	110 V AC	230 V AC
Conexión eléctrica		Conector cuadrado tipo clavija, según EN 175301-803, forma A		
Símbolo CE		-	73/23/CEE	73/23/CEE
Clase de material de aislamiento		H	F	F
Tiempo de utilización [%]		100		
Oscilaciones admisibles de la tensión [%]		±10		
Tiempo de respuesta para la conexión [ms]		25		
Tiempo de respuesta para la desconexión [ms]		10		
Valores característicos de las bobinas				
Tensión continua DC [V]		24	-	-
Tensión alterna AC [V]		-	110	230
Consumo de potencia [W]		6,8	-	-
Potencia de arranque [VA]		-	10,5	10,5
Potencia de retención [VA]		-	8	7,6
			50, 60	50, 60

Materiales		Código del material
Electroválvulas		
Cuerpo	Acero de aleación fina, inoxidable	1.4305
	Latón	CW614N
Juntas	FPM	
Características del material	Contiene sustancias agresivas para la laca Conformidad con RoHS	

ANEXO 4

Selección de válvulas antirretorno

		HA	-	1/8	-	QS-6	-	
Tipo								
Función antirretorno								
H	Válvula de antirretorno							
HA	Válvula de antirretorno, sentido del flujo; rosca exterior → racor QS							
HB	Válvula de antirretorno, sentido del flujo; racor QS → rosca exterior							
Función antirretorno desbloqueable								
HGL	Válvula de antirretorno							
Conexión neumática 1 en H/HA								
Conexión neumática 2 en HB/HGL								
H								
QS-4	Conector tipo clavija para tubos flexibles con diámetro exterior de 4 mm							
QS-6	Conector tipo clavija para tubos flexibles con diámetro exterior de 6 mm							
QS-8	Conector tipo clavija para tubos flexibles con diámetro exterior de 8 mm							
QS-10	Conector tipo clavija para tubos flexibles con diámetro exterior de 10 mm							
QS-12	Conector tipo clavija para tubos flexibles con diámetro exterior de 12 mm							
M5	Rosca interior M5							
1/8-A/I	Rosca interior/exterior G1/8							
1/4	Rosca exterior G1/4							
3/8	Rosca exterior G3/8							
1/2	Rosca exterior G1/2							
3/4	Rosca exterior G3/4							
HA/HB								
M5	Rosca exterior M5							
1/8	Rosca exterior R1/8							
1/4	Rosca exterior R1/4							
3/8	Rosca exterior R3/8							
1/2	Rosca exterior R1/2							
HGL								
M5	Rosca exterior M5							
1/8	Rosca exterior G1/8							
1/4	Rosca exterior G1/4							
3/8	Rosca exterior G3/8							
1/2	Rosca exterior G1/2							
Conexión neumática 2 en H/HA								
Conexión neumática 1 en HB/HGL								
H/HGL								
-	Tamaño de la conexión igual a las conexiones 1 ó 2							
HA/HB/HGL								
QS-4	Conector tipo clavija para tubos flexibles con diámetro exterior de 4 mm							
QS-6	Conector tipo clavija para tubos flexibles con diámetro exterior de 6 mm							
QS-8	Conector tipo clavija para tubos flexibles con diámetro exterior de 8 mm							
QS-10	Conector tipo clavija para tubos flexibles con diámetro exterior de 10 mm							
QS-12	Conector tipo clavija para tubos flexibles con diámetro exterior de 12 mm							
Generación								
B	Serie B							

Válvulas de antirretorno H

Hoja de datos: rosca interior/exterior

FESTO

Función antirretorno



- Caudal
115 ... 5900 l/min
- Temperatura
-10 ... +60 °C
- Presión
0,4 ... 12 bar



Datos técnicos generales						
Función de válvula	Función antirretorno					
Conexión neumática 1	M5	G1/8	G1/4	G3/8	G1/2	G3/4
Conexión neumática 2	M5	G1/8	G1/4	G3/8	G1/2	G3/4
Tipo de fijación	Montaje en línea					
Posición de montaje	Indistinta					
Par de apriete nominal [Nm]	-	-	11 ±10%	12.5 ±20%	14 ±20%	35 ±10%

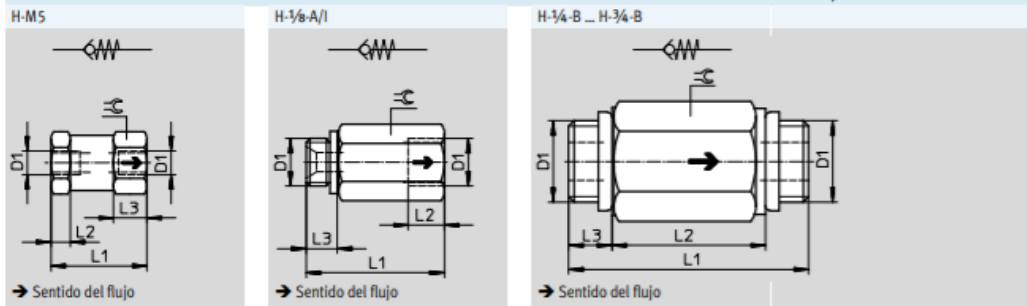
Importante: Este producto cumple con los estándares ISO 1179-1 e ISO 228-1

Válvulas de antirretorno H

Hoja de datos: rosca interior/exterior

FESTO

Dimensiones Datos CAD disponibles en www.festo.com



Tipo	Conexión D1	L1	L2	L3	±C
H-M5	M5	20	4	7	11
H-1/8-A/I	G1/8	28,5	7,5	6,5	13
H-1/4-B	G1/4	48	32	8	19
H-3/8-B	G3/8	50	32	9	22
H-1/2-B	G1/2	65	44	10,5	27
H-3/4-B	G3/4	74	50	12	32

Importante: Este producto cumple con los estándares ISO 1179-1 e ISO 228-1

	Conexión neumática		Caudal nominal normal qnN [l/min]	Peso [g]	N° art.	Tipo
	1	2				
	M5	M5	115	15	3671	H-M5
	G1/8	G1/8	280	21	3324	H-1/8-A/I ¹⁾
	G1/4	G1/4	1000	25,4	11689	H-1/4-B ¹⁾
	G3/8	G3/8	2000	34	11690	H-3/8-B ¹⁾
	G1/2	G1/2	5500	58,3	11691	H-1/2-B ¹⁾
	G3/4	G3/4	5900	101	11692	H-3/4-B ¹⁾

1) Juntas para rosca exterior incluidas en el suministro.